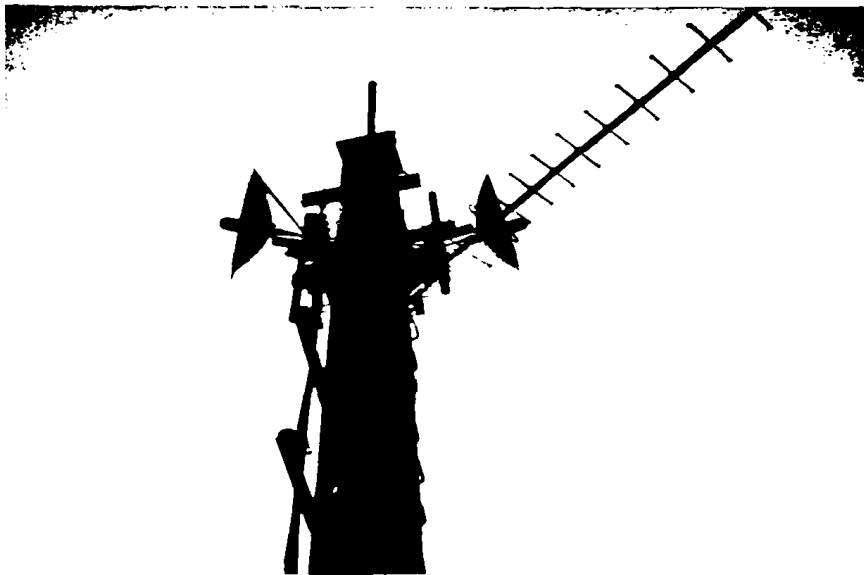


*Ανάπτυξη ενεργειακά αυτόνομου
ασύρματου συστήματος αναμετάδοσης
ψηφιακής πληροφορίας*

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΜΠΟΧΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός-
Φυσικός



Επίβλεψη: Αναπληρωτής Καθηγητής Ν. Μάνθος
Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών

Τμήμα Φυσικής
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα Ιούνιος 2013



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000336886

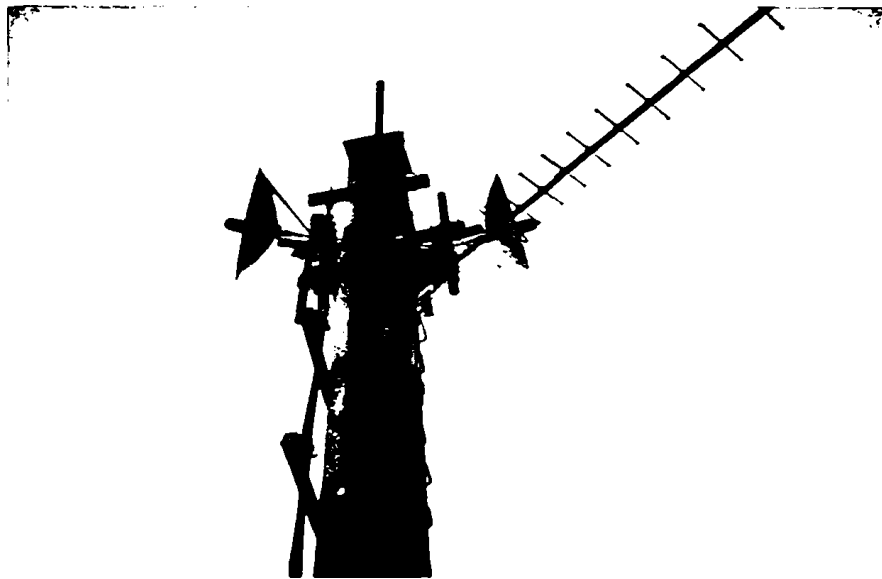


**Ανάπτυξη ενεργειακά αυτόνομου
ασύρματου συστήματος αναμετάδοσης
ψηφιακής πληροφορίας**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΜΠΟΧΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός-
Φυσικός



Επίβλεψη: Αναπληρωτής Καθηγητής Ν. Μάνθος
Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών

Τμήμα Φυσικής
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα Ιούνιος 2013



Περίληψη

Το θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ενεργειακά αυτόνομου συστήματος αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας. Το σύστημα κατασκευάστηκε με σκοπό να λαμβάνονται ασύρματα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων μετρήσεις παραμέτρων της ποιότητας του νερού που γίνονται σε θέσεις δειγματοληψίας στον ποταμό Άραχθο. Η αυτονομία του συστήματος επιτυγχάνεται με την χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων και ως μέσο αποθήκευσης της ενέργειας χρησιμοποιούνται υπερπυκνωτές. Το σύστημα αποτελεί μέρος ενός γενικότερου ασύρματου συστήματος μέτρησης της ποιότητας του νερού το οποίο περιλαμβάνει εκτός των αναμεταδοτών ένα υποσύστημα δειγματοληψίας-μέτρησης των παραμέτρων της ποιότητας του νερού βασισμένο σε αισθητήρες και μικροελεγκτή, καθώς επίσης και έναν τερματικό σταθμό με επικοινωνία στο διαδίκτυο που βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Για την υλοποίηση του αυτόνομου αναμεταδότη αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε ένα ασύρματο δίκτυο αναμετάδοσης της πληροφορίας σε συχνότητα 2.4GHz, ένα σύστημα φόρτισης των υπερπυκνωτών από φωτοβολταϊκά στοιχεία, και ένα σύστημα διαχείρισης της ισχύος εξόδου. Τέλος, συναρμολογήθηκε ο πύργος ανάρτησης των κεραιών και των φωτοβολταϊκών στοιχείων και ελέγχθηκε η ποιότητα της ασύρματης μετάδοσης.



Abstract

The subject of this master thesis is the development of a self powered wireless transceiver system. The system is constructed to receive digital information of a number of sampling water quality measuring stations which are located at Arachthos river and transmit them to the University of Ioannina. Photovoltaic panels and supercapacitors are used to provide energy to the system in order to be autonomous. The system is based on Wi-Fi communication protocol and the frequency used is 2.4GHz. The system uses a Real Time Clock system and a GPS receiver for its synchronization, taking UTP time. The information finally it is transmitted to one pc server at the University of Ioannina where is permanently stored, and retrieved. All the parts of this system are placed at antenna towers with lightning protection.



Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	2
Περιεχόμενα	3

1. Εισαγωγή

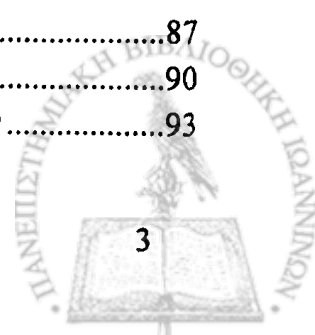
1.1 Σύντομη περιγραφή του συστήματος ποιοτικού ελέγχου του νερού	5
1.2 Ασύρματες επικοινωνίες	9
1.2.1 Εισαγωγή	9
1.2.2 Κεραίες	10
1.2.3 Wi-Fi	17
1.2.4 Τύποι ασύρματων συσκευών	20
1.2.5 Τρόπος λειτουργίας ασύρματων συσκευών	23
1.3 Φωτοβολταϊκά	25
1.4 Πύργοι αναμεταδοτών	30
1.5 Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας-Υπερπυκνωτές	32

2. Ασύρματο σύστημα αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

2.1 Το ηλεκτρονικό μέρος του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας	37
2.1.1 Το κύκλωμα ελέγχου της φόρτισης των Υπερπυκνωτών	39
2.1.2 Το κύκλωμα τροφοδοσίας των φορτιστών	42
2.1.3 Το κύκλωμα φόρτισης-εξισορρόπησης των υπερπυκνωτών	46
2.1.4 Το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου	68
2.1.5 Περιοδική λειτουργία του αναμεταδότη με τη χρήση ρολογιού πραγματικού χρόνου και μικροελεγκτή	72
2.1.6 Λογισμικό μικροελεγκτή	75

3. Υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

3.1 Υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης της πληροφορίας	83
3.2 Υλοποίηση του μετρητικού συστήματος	87
3.3 Υλοποίηση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας	90
3.4 Υλοποίηση του κυκλώματος συγχρονισμού των αναμεταδοτών	93



4. Παραμετροποίηση - αποτίμηση του συστήματος

4.1 Ρύθμιση παραμέτρων	95
4.2 Αποτίμηση του συστήματος μετάδοσης	103
4.3 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη	108
4.4 Απόδοση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας	110
4.5 Χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας	112
4.5.1 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με υπερπυκνωτές 350 F	112
4.5.2 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με υπερπυκνωτές 3000 F	113

5. Συμπεράσματα - Συζήτηση

5.1 Συμπεράσματα-Γενικές παρατηρήσεις-μελλοντική εξέλιξη του συστήματος	117
---	-----

6. Αναφορές

6 Αναφορές	119
------------------	-----

Παράρτημα.....	123
----------------	-----



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σύντομη περιγραφή του συστήματος ελέγχου ποιότητας του νερού

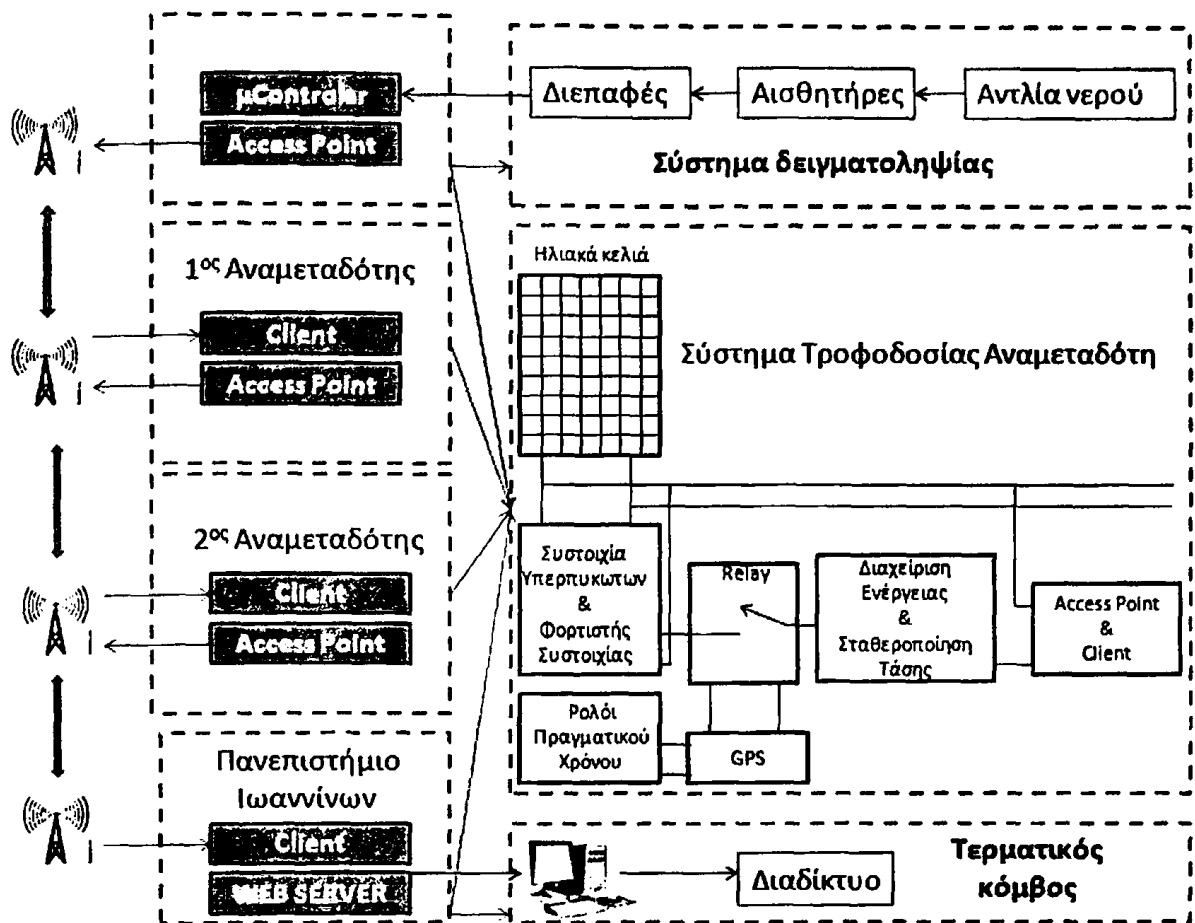
Σκοπός του συστήματος μέτρησης της ποιότητας του νερού είναι η συλλογή μετρήσεων φυσικών παραμέτρων του νερού (π.χ. Θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα κ.α.) ώστε να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα ως προς την ποιότητά του ή την τυχούσα ρύπανσή του. Το σύστημα αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

- Αισθητήρες και διεπαφές αισθητήρων με μικροελεγκτή για τη μέτρηση των διαφόρων παραμέτρων ποιότητας του νερού.
- Μικροελεγκτή για την συλλογή και αποστολή των μετρήσεων στο σύστημα αναμετάδοσης της πληροφορίας.
- Ενεργειακά αυτόνομο σύστημα αναμετάδοσης της ψηφιακής πληροφορίας.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός συστήματος αναμετάδοσης της ψηφιακής πληροφορίας. Το σύστημα είναι ενεργειακά αυτόνομο με πηγή τροφοδοσίας από φωτοβολταϊκά στοιχεία και χρησιμοποιεί ως μέσο αποθήκευσης της ενέργειας συστοιχία υπερπυκνωτών. Τα κυριότερα μέρη του συστήματος είναι:

- Το δίκτυο διακίνησης των δεδομένων που περιλαμβάνει δικτυακά σημεία πρόσβασης, κεραιές κ.λ.π.
- Τα φωτοβολταϊκά και οι πύργοι στήριξης των στοιχείων και των κεραιών.
- Το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας του ήλιου και τροφοδοσίας των συσκευών του δικτύου.

Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται μια αρχική εκτίμηση της τοπολογίας του τμήματος του δικτύου στην περιοχή του Αράχθου στον Νομό Ιωαννίνων.



Εικόνα 1.1. Διασύνδεση των στοιχείων που αποτελούν το σύστημα δειγματοληψίας και αναμετάδοσης της πληροφορίας

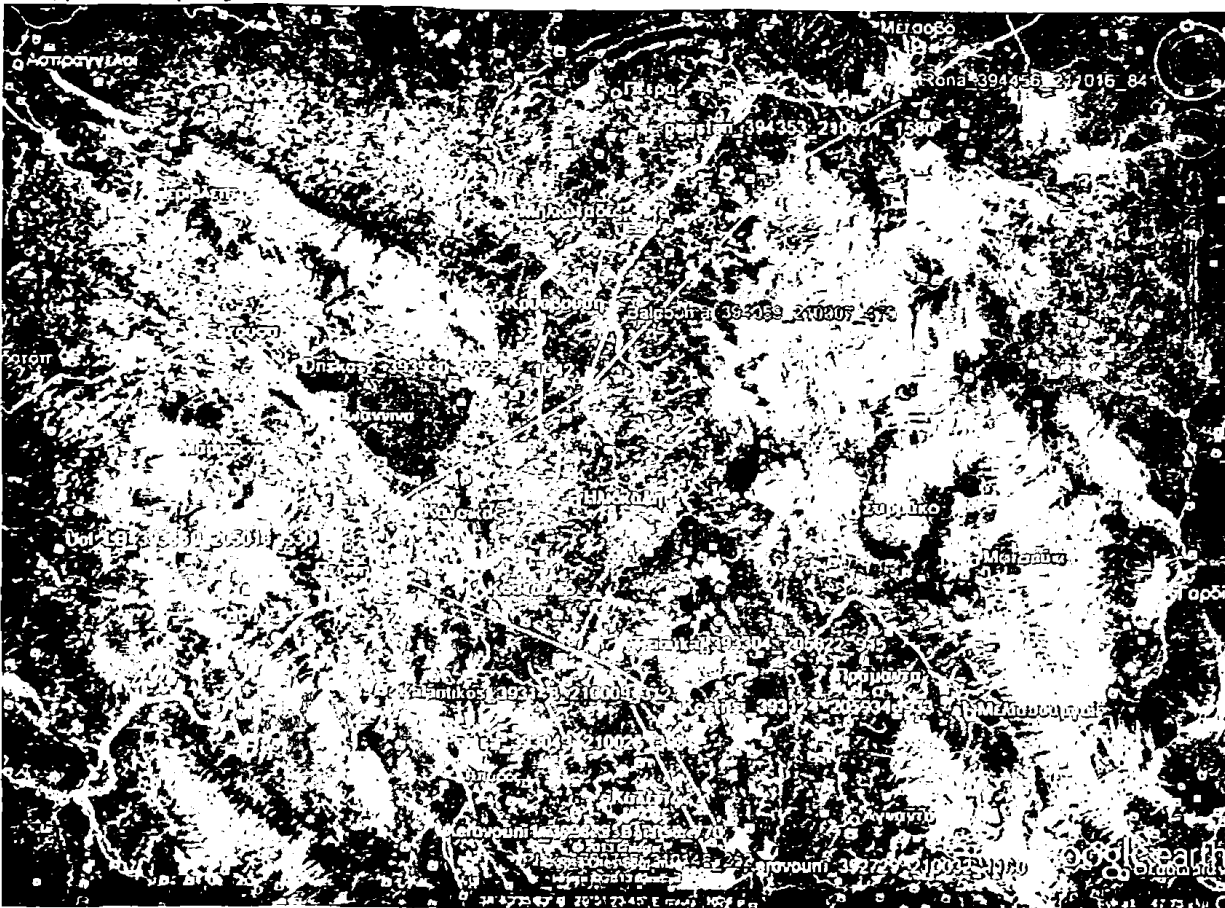
Η πληροφορία που λαμβάνεται από τους αισθητήρες αποστέλλεται μέσω του ενδιάμεσου αναμεταδοτών στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και τελικά, μέσω μιας ιστοσελίδας που φιλοξενείται σε ένα διακομιστή διαδικτύου που έχει εγκατασταθεί στο τμήμα Φυσικής, δημοσιεύονται στο διαδίκτυο. Ο τρόπος αναμετάδοσης της πληροφορίας βασίζεται στο πρότυπο 802.11 που αναλύεται παρακάτω.

Το σύστημα που κατασκευάστηκε αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου συστήματος μέτρησης των παραμέτρων ποιότητας του νερού του ποταμού με σκοπό την διεξαγωγή γενικότερων συμπερασμάτων για την ποιότητά του και τα πιθανά επίπεδα ρύπανσης. Η κατασκευή έγινε με αφορμή το πρόγραμμα με τίτλο "Wireless Water Quality Monitoring of Arachthos and Vjosë Rivers" το οποίο υλοποιείται στα πλαίσια Ευρωπαϊκού προγράμματος και έχει ως σκοπό τον έλεγχο της ποιότητας του νερού των ποταμών Αράχθου (Arachthos) στην Ελλάδα και Αίου (Vjosë) στην Αλβανία [1].

Στα πλαίσια του προγράμματος καθορίστηκε η θέση των σταθμών δειγματοληψίας και στη συνέχεια των αναμεταδοτών του ψηφιακού σήματος. Τα σημεία δειγματοληψίας να είναι καθοριστικά για την ποιότητα του νερού

αλλά και προεραβία από ορόμους ώστε να μπορεί κανείς να κάνει την τοποθέτηση των σταθμών.

Στην εικόνα 1.2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι θέσεις των σταθμών δειγματοληψίας και των αναμεταδοτών του ποταμού Αράχθου. Με κίτρινο χρώμα παρουσιάζονται οι αναμεταδότες και με πράσινο οι σταθμοί δειγματοληψίας.



Εικόνα 1.2 Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας και αναμεταδοτών στον ποταμό Αραχθο.

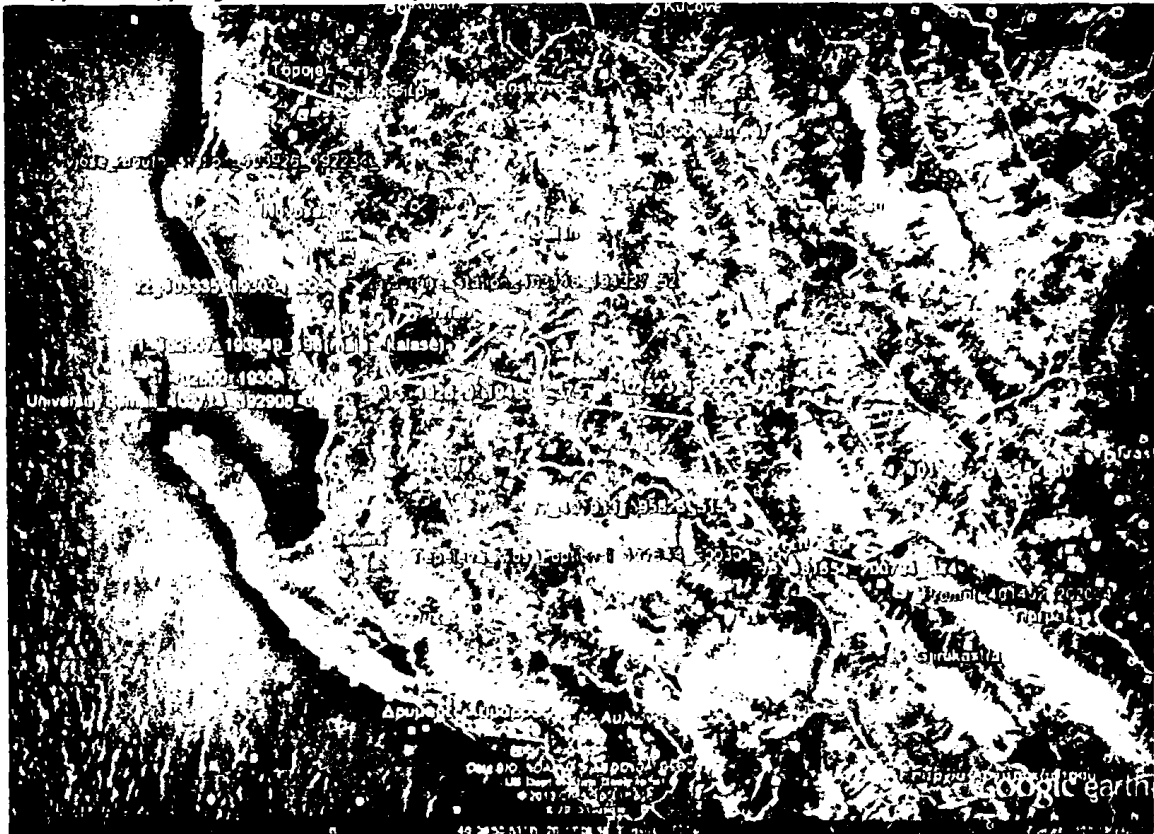
Συγκεκριμένα στον ποταμό Άραχθο που βρίσκεται Ανατολικά της πόλης των Ιωαννίνων θα εγκατασταθεί ένας σταθμός δειγματοληψίας κοντά στο Μέτσοβο στο σημείο συνάντησης του Αράχθου με τον παραπόταμο Ρόνα, ένας διπλός σταθμός στη διασταύρωση με τον παραπόταμο Βάρδα, ένας διπλός σταθμός στην διασταύρωση με τον παραπόταμο Καλλαρύτικο και ένας μονός σταθμός στην γέφυρα της Πλάκας. Όλοι οι σταθμοί δειγματοληψίας και αναμετάδωσης των δεδομένων θα είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους και η περισυλλογή των δεδομένων από τον μικροελεγκτή θα γίνεται μόνο τις ώρες που το επιθυμεί ο χρήστης.

Σε κάθε αναμεταδότη έχει προβλεφθεί να τοποθετηθεί ένα κουτί με δύο Ασύρματα Σημεία Πρόσβασης, AP (Wireless Access Point ή απλά AP) [2], ένα για κάθε κεραία, ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον ένα Router Board με δύο κάρτες (μια για κάθε κεραία). Η ιδέα του Router Board προέκυψε με κριτήριο την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας [3]. Ο



τερματικός σταθμός διασύνδεσης του τοπικού δικτύου με τον παγκόσμιο ιστό βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και συγκεκριμένα στη ταράτσα του πέμπτου ορόφου του κτηρίου Φ3 του τμήματος Φυσικής και σε αυτόν θα τοποθετηθούν δύο κεραίες. Η μία θα έχει κατεύθυνση προς τον Δρίσκο όπου και θα τοποθετηθεί ένας αναμεταδότης και η άλλη προς την Μονή Τσοούκας που θα τοποθετηθεί ένας δεύτερος αναμεταδότης. Προσοχή πρέπει να δοθεί στον τρόπο ρύθμισης των στοιχείων του δικτύου. Δεν σημαίνει ότι όταν κάποιος αναμεταδότης στέλνει δεδομένα πρέπει απαραίτητα να ρυθμιστεί ως AP και αυτός που τα δέχεται ως Client. Εδώ ισχύει το αντίθετο καθώς κάθε Client μπορεί να συνδεθεί με ένα AP ενώ ένα AP μπορεί να συνδεθεί με πολλούς Client. Η ανταλλαγή των δεδομένων είναι αμφίδρομη. Αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στους αναμεταδότες που δέχονται δεδομένα από διαφορετικά σημεία (κεντρικούς).

Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι θέσεις των σταθμών δειγματοληψίας και των αναμεταδοτών του ποταμού Αώου στην Αλβανία.



Εικόνα 1.3 Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας και αναμεταδοτών στον ποταμό Αώο.

1.2 Ασύρματες επικοινωνίες

1.2.1 Εισαγωγή

Τα ασύρματα δίκτυα πρωτοεμφανίστηκαν τη δεκαετία του '70 και από τότε καθώς περνάνε τα χρόνια έχουν ολοένα και μεγαλύτερη εξάπλωση. Η χρήση τους όμως έγινε περισσότερο ευρεία την προηγούμενη δεκαετία, κατά την οποία μπόρεσαν να υποστηρίξουν και την κινητικότητα των κόμβων τους. Το μεγάλο πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων είναι ότι εγκαθίστανται πολύ εύκολα και παρέχουν ελευθερία κινήσεων στους χρήστες που δεν έχουν σταθερή θέση εργασίας. Οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης προσφέρουν ευελιξία, αξιόπιστη μετάδοση με αρκετά μεγάλη εμβέλεια και συμβατότητα με γνωστά πρωτόκολλα, όπως το Ethernet και το ATM.

Δύο είναι οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων. Ο πρώτος είναι η ζήτηση για υπηρεσίες που απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, όπως για παράδειγμα η υψηλής ταχύτητας ασύρματη πρόσβαση στο Internet και ο δεύτερος έχει να κάνει με την πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος ράδιο-συχνοτήτων (radio frequency - RF spectrum). Ο τελευταίος αποτελεί συνέπεια της συνεχώς αυξανόμενης χρήσης σε παγκόσμιο επίπεδο των ασύρματων υπηρεσιών.

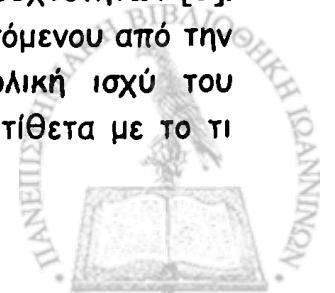
Οι τεχνολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το WiFi (802.11b) και HyperLAN/2 προσφέρουν διασυνδέσεις ανάμεσα σε ενσύρματα και σε ασύρματα δίκτυα. Επίσης το Bluetooth και το HomeRF σχεδιάστηκαν για να παρέχουν προσωπικές επικοινωνίες και να συνδέουν συσκευές που απέχουν κοντινές αποστάσεις. Τέλος το IEEE 802.16 χρησιμοποιείται για την υλοποίηση ευρύτερων ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων.

Στο μέλλον όλα τα παραπάνω δίκτυα ασυρμάτων τηλεπικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των σταθερών και του διαδικτύου, προβλέπεται να γίνουν διαφανή στο χρήστη, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε υπηρεσία επιθυμεί, σε οποιοδήποτε δίκτυο. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων θα πολλαπλασιαστούν και υπηρεσίες όπως η βίντεο κλήση και τα δημόσια W-LAN θα είναι εξαιρετικά διαδεδομένες. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η επικοινωνία W-LAN για την κατασκευή ενός τοπικού δικτύου που έχει ως σκοπό τη μεταφορά της ψηφιακής πληροφορίας σε πολύ μεγάλη απόσταση. Για να γίνει η μεταφορά εφικτή πρέπει να γίνει σωστή επιλογή των στοιχείων που αποτελούν το δίκτυο (κεραίες, πρωτόκολλα, ασύρματες συσκευές) και αναλύονται εκτενώς στις παραγράφους που ακολουθούν.

1.2.2 Κεραίες

Μια κεραία αποτελείται από μεταλλικά μέρη τοποθετημένα σε τέτοια διάταξη που επιτρέπει αποστολή-λήψη ραδιοκυμάτων. Οι κεραίες έχουν μεγάλη ποικιλομορφία σε μεγέθη και σχήματα και μπορεί να έχουν την μορφή ενός κυλίνδρου, μιας χοάνης, μιας επίπεδης πλακέτας, ή ακόμα ενός κομματιού από καλώδιο. Στην παρούσα διπλωματική αναφέρονται κυρίως κεραίες που εξυπηρετούν συνδέσεις WLAN. Παρόλο που μια κεραία λόγω του ότι δεν περιλαμβάνει "ηλεκτρονικά" μέρη, φαίνεται να είναι ένα από τα πιο απλά μέρη ενός ασύρματου δικτύου, ο ρόλος της για μία σταθερή και αξιόπιστη ζεύξη είναι ιδιαίτερα σημαντικός και έτσι στην ανάπτυξη ενός δικτύου πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην επιλογή κεραιών. Για την επιλογή της κατάλληλης κεραίας λαμβάνεται υπόψη η μορφολογία και οι αποστάσεις της περιοχής κάλυψης. Δηλαδή η κεραία πρέπει να παρέχει αρκετά υψηλή στάθμη σήματος ώστε να υπάρχει σταθερή και αξιόπιστη ζεύξη σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Για κάθε κεραία που υπάρχει στην αγορά αντιστοιχούν κάποια στοιχεία τα οποία όμως είναι βασικά για τον υπολογισμό των στοιχείων του δικτύου σε συνάρτηση με τα AP που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα κάθε κατασκευαστής ενός AP περιλαμβάνει στα χαρακτηριστικά του το όριο ευαισθησίας του δέκτη (Sensitivity), δηλαδή το σημείο εκείνο στο οποίο το AP μπορεί να αναγνωρίσει το σήμα μέσα στον θόρυβο. Το όριο ευαισθησίας μετριέται σε dBm και είναι σημαντικός ο ρόλος του στην επιλογή της κεραίας. Η ισχύς εκπομπής σε ένα AP αναγράφεται τόσο σε mW όσο και σε dBm. Αντίστοιχα σε μια κεραία το βασικό χαρακτηριστικό της είναι το κέρδος της (gain). Το κέρδος κάθε κεραίας μετριέται σε dBi (όπου το i προέρχεται από την λέξη isotropic). Για παράδειγμα 0 dBi είναι το κέρδος μιας υποθετικής κεραίας που ακτινοβολεί όλη την ισχύ της σε μια τέλεια ομοιόμορφη σφαιρική κατανομή [4]. Κεραίες με τέτοια ακτινοβολία δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα. Οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν σύστημα είναι κατευθυντικές, δηλαδή συγκεντρώνουν όλη την ισχύ του σήματός τους σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η μεγάλη ισχύς που έχουμε στον δέκτη είναι θετικό χαρακτηριστικό αλλά η μεγάλη ισχύς είτε μπορεί ξεπερνά τα όρια ραδιοπροστασίας είτε μπορεί να μολύνει το ραδιοφάσμα, που είναι περιορισμένο. Οι ζώνες των 2.4 GHz και 5 GHz είναι ελεύθερες και δεν απαιτείται άδεια, αλλά υπάρχει νομοθεσία που επιβάλλει περιορισμούς στην χρήση τους όπως για παράδειγμα δεν επιτρέπεται να αναπτυχθεί Δημόσιο Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα Κορμού με τη χρήση αυτών των συχνοτήτων [5]. Υπάρχει ένα όριο εκπομπής της μέγιστης ισχύος του εκπεμπόμενου από την κεραία σήματος που οδηγεί σε περιορισμούς στην συνολική ισχύ του εξοπλισμού, και επομένως στην απόσταση των ζεύξεων. Αντίθετα με το τι

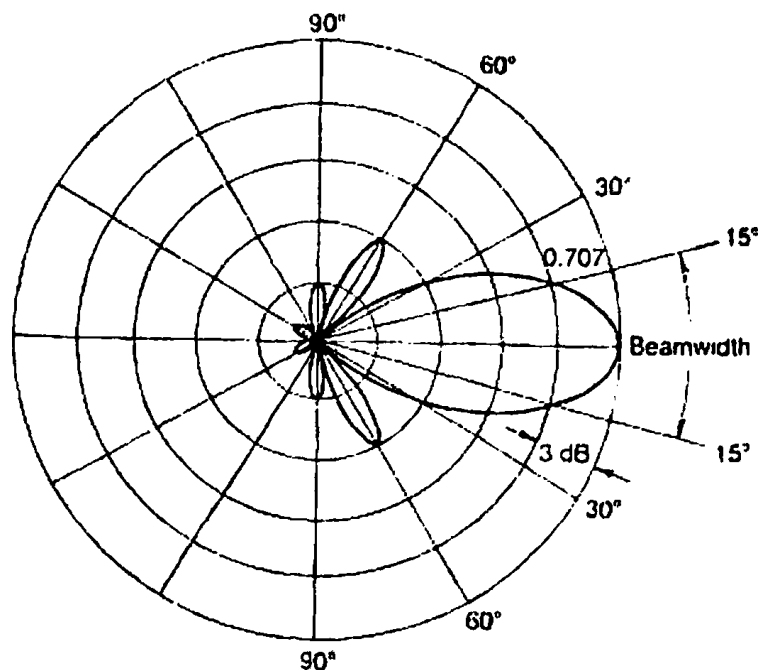


ισχύει στην Β. Αμερική, όπου υπάρχει άλλο όριο για πολυκατευθυντικότητα και άλλο για κατευθυντικότητα (μεγαλύτερο), στην Ευρώπη το όριο εκπομπής είναι στα 20 dBm (100 mW) ανεξαρτήτως της μορφής της σύνδεσης. Ένα ακόμα βασικό στοιχείο μιας ασύρματης σύνδεσης είναι οι απώλειες ελεύθερου χώρου που μετριοούνται σε dB (Free-Space path loss ή FSPL) και είναι το μέγεθος των απωλειών της ισχύος του σήματος εκπομπής συναρτήσεως της απόστασης από τον πομπό. Αυτές οι απώλειες δύνονται από την εμπειρική σχέση:

$$FSPL = 92.45 + 20 \log d + 20 \log f, \quad (1.2.1)$$

όπου d η απόσταση πομπού-δέκτη σε km και f η συχνότητα επικοινωνίας σε GHz [6,7]. Έτσι αν για παράδειγμα απαιτείται επικοινωνία με σημείο που έχει απόσταση από τον πομπό 10km στα 2.4 GHz χρησιμοποιώντας AP του οποίου η ευαισθησία είναι 78 dBm, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση θα έχουμε απώλειες ελεύθερου χώρου 120.05 dB. Αφαιρώντας την ευαισθησία πομπού-δέκτη προκύπτει το κέρδος της κεραίας, 42 dBi. Άρα απαιτείται μια κεραία στον πομπό και μία στον δέκτη με κέρδος τουλάχιστον 21 dBi ανά κεραία. Επίσης βασικό χαρακτηριστικό των κεραιών είναι η βέλτιστη περιοχή συχνοτήτων στη οποία εκπέμπουν και πρέπει να συμφωνεί με τη συχνότητα του πομπού-δέκτη. Συνήθως ορίζεται μια κεντρική συχνότητα και μια απόκλιση γύρω από αυτήν, ή ορίζεται ένα εύρος (bandwidth), για παράδειγμα 2.4 GHz ως 2.483 GHz. Σε κάθε περίπτωση το εύρος αυτό διά την κεντρική συχνότητα δεν μπορεί να είναι μεγάλο.

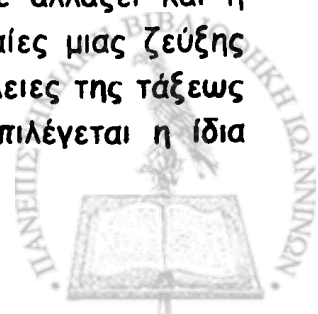
Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο μιας κεραίας είναι το εύρος δέσμης της, το οποίο προσδιορίζει την ικανότητα συρρίκνωσης της δέσμης γύρω από τον κύριο άξονα της ακτινοβολίας. Περιγράφεται δε ως η γωνία που σχηματίζεται από τα σημεία του κυρίως λοβού του διαγράμματος στα οποία η ισχύς μειώνεται στο 0.707 της μέγιστης τιμής της και φαίνεται στην εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4. Σχηματική απεικόνιση του εύρους δέσμης (Beamwidth) της κεραίας.

Άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των κεραιών είναι ο λόγος στάσιμου κύματος ή όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία Voltage Standing Wave Ratio (V.S.W.R.) και δείχνει αν στο σύστημα πομπός-καλώδιο-κεραία ακτινοβολείται από την κεραία η μέγιστη δυνατή ισχύς που δίνει ο πομπός. Συνήθως στα τεχνικά φυλλάδια γράφεται με την μορφή $X:1$ όπου X είναι ο V.S.W.R. και η μονάδα αναφέρεται στην τέλεια προσαρμογή. Εάν ο λόγος είναι κοντά στην μονάδα τόσο πιο τέλεια προσαρμοσμένος είναι ο πομπός στην κεραία και όλη η ισχύς του πομπού ακτινοβολείται από την κεραία. Στην περίπτωση όμως που η κεραία δεν είναι τέλεια προσαρμοσμένη με τον πομπό ένα μέρος της ισχύος που λαμβάνει επιστρέφει πίσω στον πομπό με αποτέλεσμα υπερθέρμανση και πιθανή καταστροφή του.

Τέλος, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας κεραίας είναι η πόλωση της [8]. Η πόλωση μας δείχνει την κατεύθυνση που έχει το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Τα είδη της πόλωσης είναι κατακόρυφη, οριζόντια, κυκλική και ελλειπτική, ανάλογα με το μέτρο και την κατεύθυνση του κατακόρυφου και του οριζόντιου διανύσματος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Όταν το κύμα φεύγει από την κεραία κάθετα στον άξονά της, τότε η κεραία λέγεται ότι είναι πολωμένη κάθετα, τα αντίστοιχα συμβαίνουν όταν είναι πολωμένη οριζόντια. Αν περιστραφεί η ίδια κεραία ως προς τον άξονά της κάθετης ή οριζόντιας πόλωσης κατά 90 μοίρες τότε αλλάζει και η πόλωση της. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι όταν δύο κεραίες μιας ζεύξης έχουν διαφορετική πόλωση τότε υπάρχουν σημαντικές απώλειες της τάξεως των 20 dB περίπου ή περισσότερο. Επομένως πάντα επιλέγεται η ίδια



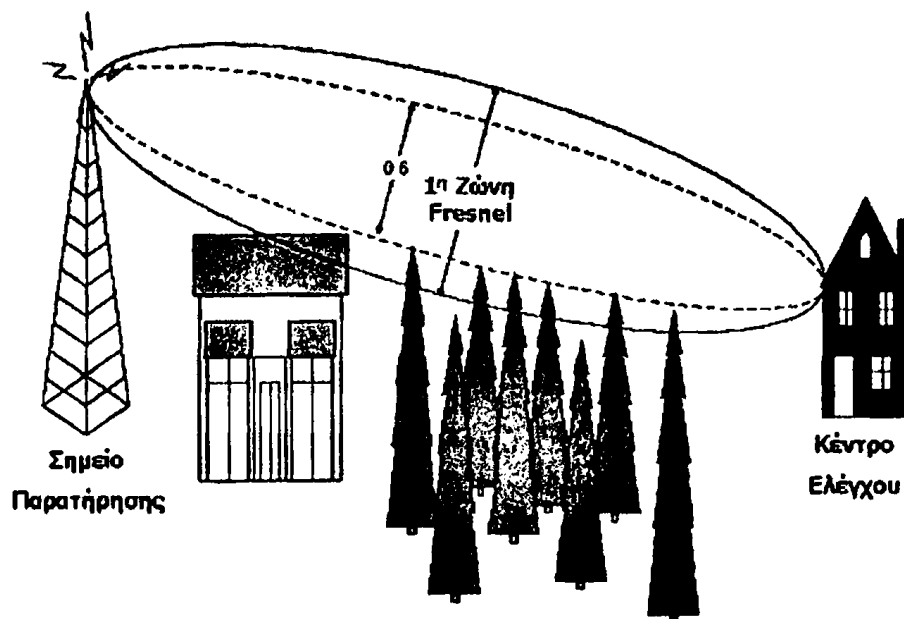
πόλωση στο ζεύγος των κεραιών. Η ιδιότητα της πόλωσης αποτελεί πλεονέκτημα αφού επιτρέπει σε περισσότερα ραδιοσυστήματα να μοιράζονται τον ίδιο εναέριο χώρο. Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας επιλογής της πόλωσης είναι η μείωση αντανάκλασεων που δημιουργούν το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath).

Την εκπομπή και λήψη ενός σήματος σε εξωτερικούς χώρους επηρεάζουν πολλοί παράγοντες όπως η υγρασία, τα κοντινά εμπόδια η θερμοκρασία κλπ. Κάθε παράγοντας συνδέεται άμεσα με φυσικά φαινόμενα όπως συμβολή, περίθλαση, ανάκλαση, διάθλαση και άλλα στα οποία υπόκειται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Στα συστήματα W-LAN γενικά και ειδικά σε αυτά που αφορούν ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων τα παραπάνω φαινόμενα παίζουν σημαντικό ρόλο. Κατά βάση κάθε κατασκευαστής ενός ασύρματου δικτύου επιχειρεί να έχει οπτική επαφή (Line of Sight ή LOS) του πομπού με τον δέκτη ώστε να αποφευχθούν κάποια από τα παραπάνω φαινόμενα που επιδρούν δυσμενώς στην ζεύξη. Για παράδειγμα η επικοινωνία VHF και GSM εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της περίθλασης ώστε να γίνει εφικτή η ζεύξη ακόμα και αν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Όμως στα δίκτυα WLAN το φαινόμενο αυτό εμποδίζει την σωστή επικοινωνία. Τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης λαμβάνουν χώρα όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει πάνω σε μια επιφάνεια με διαφορετική πυκνότητα από αυτήν του αέρα όπως για παράδειγμα επιφάνεια δένδρων, κτηρίων, αλλά ακόμα και σε υγρασία, βροχή ή και χιόνι. Το μεγαλύτερο βέβαια πρόβλημα εμφανίζεται όταν κοντά στην ζώνη της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υπάρχουν εμπόδια μεγάλης πυκνότητας όπως κτήρια και δένδρα. Ο λόγος που δεν έχουμε τόσο σοβαρό πρόβλημα με την υγρασία, τη βροχή ή το χιόνι είναι ότι λόγω του εκπεμπόμενου μήκους κύματος στα 2.4 GHz ή στα 5 GHz οι διαθλάσεις και οι ανακλάσεις δεν είναι έντονες αφού οι σταγόνες της βροχής επηρεάζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος κοντά στο μέγεθός τους. Αυτό συμβαίνει για μήκη κύματος πάνω από τα 10 GHz στα οποία το μήκος κύματος που προκύπτει από τη σχέση $c=lf$ είναι περίπου 20 mm. Το ερώτημα όμως είναι κατά πόσο κοντά ή μακριά από τη ζώνη της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας θα πρέπει να είναι ένα αντικείμενο ώστε να μην επηρεάζει την ζεύξη μεταξύ των δύο σημείων.

Παρατηρήθηκε ότι τα αντικείμενα που βρίσκονται σε μια ελλειψοειδή ζώνη με εστίες τις θέσεις του πομπού και δέκτη, έχουν ισχυρή επίδραση στην ισχύ του σήματος [9][10]. Για αυτό οι σχεδιαστές των ασύρματων δικτύων προσπαθούν να έχουν καθαρή οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Με τον όρο οπτική επαφή ουσιαστικά δεν υποδηλώνεται απλά ότι τα δύο σημεία προς διασύνδεση είναι αλληλοορατά, αλλά ότι δεν υπάρχουν εμπόδια τουλάχιστον στο 60% της 1^η ζώνης Fresnel που δημιουργείται



μεταξύ των δύο σημείων. Δυστυχώς, υπάρχουν ελάχιστοι μη μαθηματικοί τρόποι για να περιγραφτούν οι ζώνες Fresnel. Γενικά η ζώνη Fresnel μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρισδιάστατος οβάλ όγκος που ορίζεται περί τον άξονα που ενώνει το σύστημα των κεραιών του πομπού με το αντίστοιχο του δέκτη (Εικόνα 1.5).

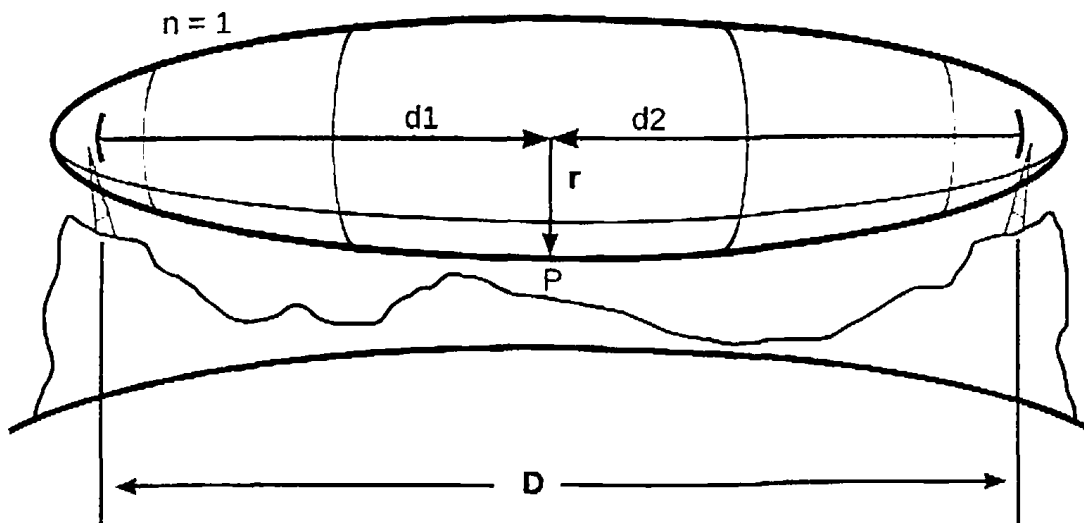


Εικόνα 1.5. Σχηματική απεικόνιση της πρώτης ζώνης Fresnel

Για τον υπολογισμό της ακτίνας της πρώτης ζώνης Fresnel με κέντρο την ευθεία οπτικής επαφής LOS χρησιμοποιείται η σχέση:

$$r = 17.3 \sqrt{\frac{n}{f} * \frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}} \quad (1.2.2)$$

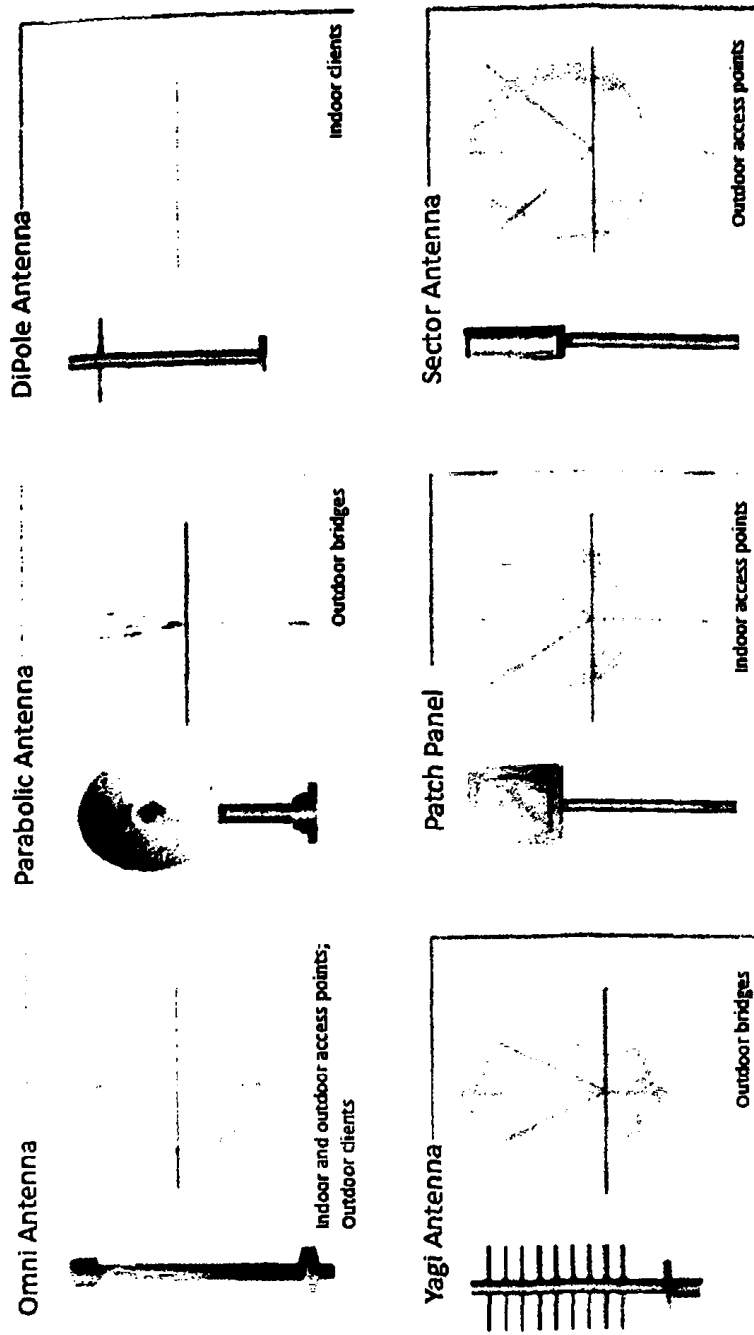
Όπου r είναι η ακτίνα της ζώνης Fresnel και μετριέται σε μέτρα, d_1 και d_2 οι αποστάσεις από τους αναμεταδότες σε km, f η συχνότητα εκπομπής σε GHz και n ένας ακέραιος αριθμός μεγαλύτερος του μηδενός που αναφέρεται στον αριθμό της ζώνης Fresnel για τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί. Η εικόνα 1.6 δείχνει μια αναπαριστά καθαρά τα μεγέθη της πιο πάνω σχέσης [11].



Εικόνα 1.6. Σχηματική απεικόνιση του υπολογισμού της ακτίνας των ζωνών Fresnel

Στην αγορά απαντάται μια μεγάλη γκάμα κεραιών. Τα δύο όμως βασικά είδη κεραιών ανάλογο με την εκπομπή τους είναι η κατευθυντική (directional) όπου το χαρακτηριστικό πρότυπο εκπομπής της είναι έντονα ενισχυμένο προς μια κατεύθυνση και η πολυκατευθυντική κεραία ή αλλιώς ονομαζόμενη ευρείας διασποράς (omnidirectional, omni), η οποία εκπέμπει προς όλες της κατευθύνσεις. Ακόμα, υπάρχουν οι κεραίες τομέα (Sector Antennas) με γωνία οριζόντιας κάλυψης από 40 έως 180 μοίρες και οι επίπεδες κεραίες (Flat Panel) οι οποίες είναι ενδιάμεσες λύσεις. Στην εικόνα 1.7 φαίνονται τα βασικότερα είδη κεραιών ανάλογο με το είδος διασποράς το σήματος, δηλαδή την κατανομή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον χώρο. Οι κατευθυντικές οι οποίες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες και είναι οι παραβολικές πλέγματος (Grid Parabolic) και τα δορυφορικά κάτοπτρα έχουν το μεγαλύτερο κέρδος. Το πρότυπο εκπομπής τους είναι τέτοιο, ώστε να δημιουργεί μια σχετικά στενή δέσμη, η οποία μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερη απόσταση. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι, εκτός από τη μεγάλη απόσταση, λόγω της στενής δέσμης δεν είναι εύκολο να έχουν παρεμβολές και παράσιτα. Ιδανικές περιπτώσεις για την χρήση τους είναι η σύνδεση σημείου με σημείο (Point-to-Point), ειδικά αν οι αποστάσεις είναι μεγάλες, αλλά και στη σύνδεση ενός σημείου με ένα Access Point, το οποίο χρησιμοποιεί πολυκατευθυντική κεραία (omni Directional antenna).

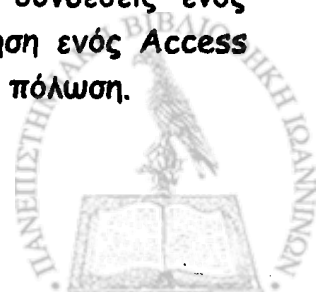
Antennas types and radiation patterns



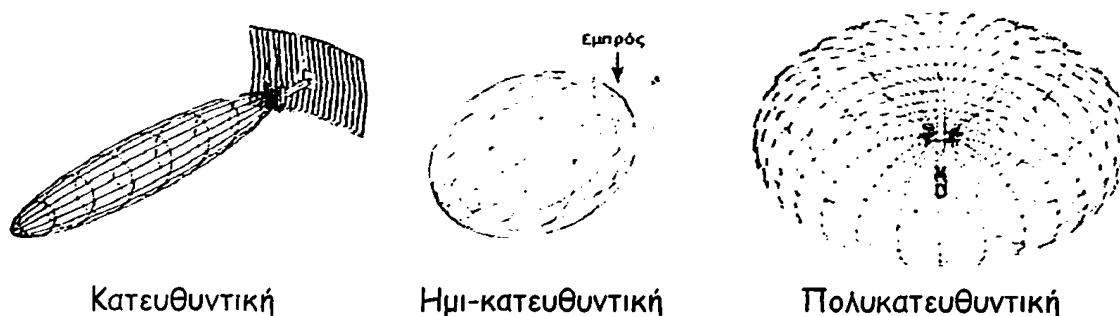
Antenna	Gain	Directivity	Beam Width	Beam Width	Beam Width	Beam Width
Omnidirectional	2 dBi	360° H	360° H	5 dBi	75° H	90° H
Parabolic	5 dBi	55° H	12.5° H	20 dBi	12 dBi	
Yagi	10 dBi	55° H	12.5° H	20 dBi	12 dBi	
Patch Panel	5 dBi	75° H	12.5° H	20 dBi	12 dBi	
Sector	5 dBi	55° H	12.5° H	20 dBi	12 dBi	
Directional	20 dBi	12.5° H	12.5° H	20 dBi	12 dBi	

Εικόνα 1.7. Τύποι κεραιών ανάλογα με το είδος διασποράς τους με κάποια ενδεικτικά κέρδη.

Η πολυκατευθυντική Κεραία έχει σχεδόν την ίδια ενίσχυση (Gain) προς κάθε κατεύθυνση. Η εκπομπή της είναι τέτοια, ώστε να δημιουργεί γύρω της ένα πεδίο που μοιάζει με "δίσκο", με αποτέλεσμα να έχει μικρότερη ενίσχυση στον κατακόρυφο άξονα και μεγαλύτερη στον οριζόντιο. Η πολυκατευθυντικές κεραιές χρησιμοποιούνται κυρίως για συνδέσεις ενός σημείου με πολλά σημεία (Point-to-Multipoint) με την χρήση ενός Access Point. Συνήθως οι πολυκατευθυντικές κεραιές έχουν κάθετη πόλωση.



Λόγω του μεγάλου κέρδους και του στενού διαγράμματος ακτινοβολίας, για κατευθυντικές ζεύξεις μερικών χιλιομέτρων χρησιμοποιούνται κεραιές τύπου πλέγματος (Grid). Ο λόγος που το υλικό τους δεν είναι συμπαγές αφενός είναι το χαμηλό κόστος και αφετέρου η χαμηλή αντίσταση που παρουσιάζουν σε ανέμους μεγάλων εντάσεων. Η κύρια εκπομπή λέγεται και κύριος λοβός ενώ οι μικρές πλαϊνές πλάγιοι λοβοί (Εικόνα 1.4). Μια καλή κατευθυντική κεραία θα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και στενότερο κεντρικό λοβό και όσο το δυνατόν μικρότερους πλάγιους λοβούς. Οι πλάγιοι λοβοί είναι υπεύθυνοι πολλές φορές για λήψη επιπλέον θορύβου ενώ δεν εξυπηρετούν στην εκπομπή. Επίσης όσο στενότερος είναι ο κεντρικός λοβός τόσο περισσότερο μειώνονται οι ανακλάσεις και η πιθανότητα ανάμειξης σήματος με θόρυβο.



Σχήμα 1.8. Τρισδιάστατη απεικόνιση των κύριων λοβών τριών από τα βασικότερα είδη κεραιών.

1.2.3 Wi - Fi

Το Wi-Fi (Wireless Fidelity) οφείλει την ονομασία του στον οργανισμό Wi-Fi Alliance, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την πιστοποίηση των προϊόντων που τηρούν τις προδιαγραφές του προτύπου 802.11. Το 802.11 περιλαμβάνει μια οικογένεια πρωτοκόλλων που αναφέρονται σε τοπικά ασύρματα δίκτυα (Wireless Local Area Network Medium Access Control (MAC)). Τα βασικά από αυτά είναι τα 802.11b/g/a. Αρχικά το πρότυπο αναπτύχθηκε με σκοπό την αντικατάσταση της ενσύρματης διασύνδεσης (Ethernet, 802.3) σταθερών σταθμών με ασύρματα [12]. Παρ' όλα αυτά τα ασύρματα δίκτυα έχουν γνωρίσει μεγάλη εξάπλωση στον τομέα των υπηρεσιών διαδικτύου. Παρακάτω αριθμούνται μερικοί τύποι ασύρματων ζεύξεων:

- Xbee
- HomeRF

- IEEE 802.11
- Bluetooth

Καθένα από αυτά τα πρωτόκολλα έχει και διαφορετική εφαρμογή. Το Bluetooth για παράδειγμα λόγω των μικρών αποστάσεων εκπομπής του χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές μικρών αποστάσεων όπως μέσα σε ένα σπίτι ή μεταξύ δύο κινητών συσκευών που ανταλλάσσουν πληροφορία σε πολύ μικρές αποστάσεις. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται μερικά από τα πιο εμπορικά πρωτόκολλα της οικογένειας 802.11 με τα κύρια χαρακτηριστικά τους [13].

Έκδοση	Ημερομηνία	Ζώνη Συχνοτήτων	Συνήθης Ρυθμός Μετάδοσης	Ονομαστικός Ρυθμός Μετάδοσης	Μέθοδοι Μετάδοσης
802.11	1997	2.4 GHz	0.9Mbps	2Mbps	IR/FHSS /DSSS
802.11b	1999	2.4 GHz	4.3 Mbps	11 Mbps	DSSS
802.11a	1999	5 GHz	23 Mbps	54 Mbps	OFDM
802.11g	2003	2.4 GHz	19 Mbps	54 Mbps	OFDM

Πίνακας 1. Τα πρωτόκολλα της οικογένειας 802.11 που επικρατούν στην αγορά.

Η προδιαγραφή του προτύπου 802.11b η οποία επικυρώθηκε το 1999 είναι η πλέον εμπορικότερη [14]. Ο ρυθμός μετάδοσης ήταν αρχικά σχεδιασμένος να είναι από 1 έως 2 Mbps αλλά σήμερα το πρότυπο παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από 1 έως 11 Mbps σε ένα διαμοιραζόμενο τοπικό δίκτυο. Η ταχύτητα μετάδοσης εξαρτάται από την απόσταση. Όπως αναλύεται σε επόμενη παράγραφο όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη τόσο μικρότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης. Εκπέμπει στη ζώνη των 2.4 GHz που στις περισσότερες χώρες είναι ελεύθερη.

Το πρότυπο 802.11b χρησιμοποιεί σαν μέθοδο μετάδοσης την DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) με κωδικοποίηση CCK (Complementary Code Keying), η οποία επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης [15]. Η CCK είναι μια τεχνική κωδικοποίησης με την οποία τα δεδομένα διαχωρίζονται σωστά στον δέκτη, ακόμα και αν το σήμα φτάνει με αρκετό θόρυβο. Στην εικόνα 1.9 φαίνεται η δομή ενός πλαισίου DSSS [16].



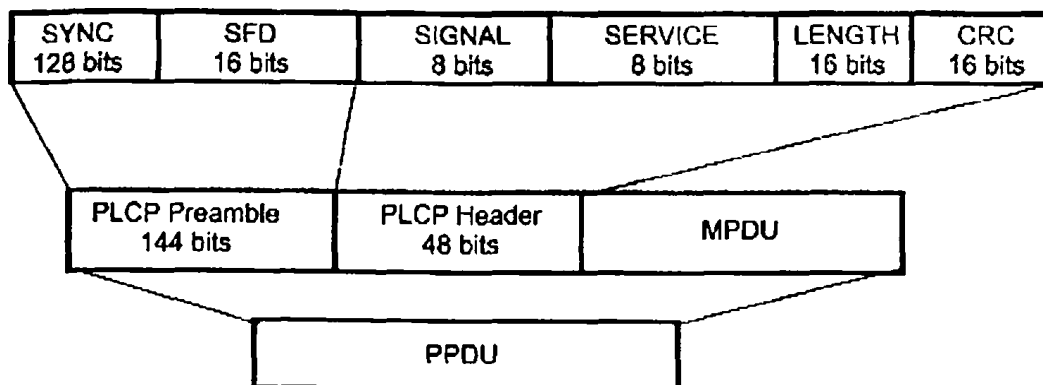


Figure 15-1—PLCP frame format

Εικόνα 1.9. Πλαίσιο DSSS [17].

Το πλαίσιο DSSS κατά τη μεταφορά του υπόκειται στην Διαδικασία Σύγκλισης Φυσικού Επιπέδου (Physical Layer Convergence Procedure - PLCP) κατά την οποία προετοιμάζει τα δεδομένα MPDU (MAC Protocol Data Unit) για μετάδοση. Η προετοιμασία των δεδομένων περιλαμβάνει την πρόσθεση του προοιμίου (PLCP Preamble) το οποίο χρησιμεύει για τον συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη και τη δήλωση της αρχής του πλαισίου. Στην συνέχεια ακολουθεί η επικεφαλίδα του πλαισίου (PLCP Header) και τέλος τα δεδομένα (MPDU).

Το 802.11a που εμφανίστηκε το 1999 είναι πολύ γρηγορότερο σε ρυθμούς μετάδοσης από το 802.11b που αγγίζουν τα 54 Mbps ενώ εκπέμπει στα 5 GHz χρησιμοποιώντας 8 κανάλια μετάδοσης. Ως τεχνική μετάδοσης χρησιμοποιείται η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η τεχνική OFDM υποστηρίζει μετάδοση με πολλαπλές φέρουσες προσδίδοντας στο πρότυπο ανθεκτικότητα στη μετάδοση των δεδομένων και πολύ καλές επιδόσεις σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath fading). Επιπλέον η χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων όπως οι (Forward Error Correction, FEC) και (Cyclic Redundancy Check, CRC) προσδίδει στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης.

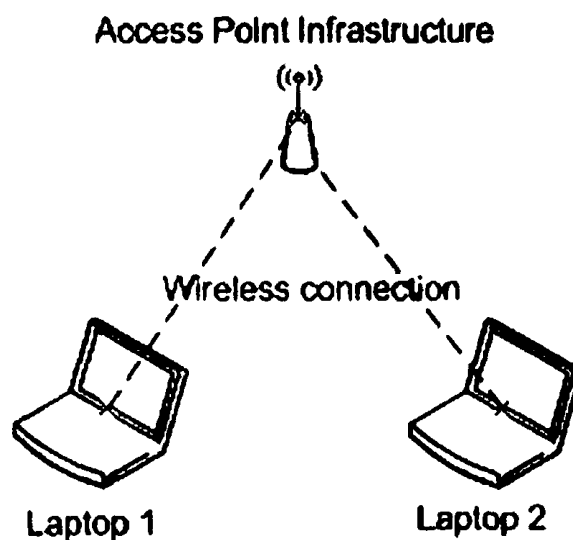
Ένα από τα πλεονεκτήματα του 802.11a πέρα από τους γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης είναι ότι το σήμα του δεν υπόκειται σε παρεμβολές από την ίδια συχνότητα που χρησιμοποιούν άλλα ασύρματα πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα συσκευές Bluetooth. Ένα μεγάλο μειονέκτημά του είναι ότι λόγω του ότι εκπέμπει και στα 5 GHz δεν είναι άμεσα συμβατό με το 802.11b που υποστηρίζουν άλλες συσκευές και επίσης τα 5 GHz έχουν μικρότερη απόδοση σε μεγάλες αποστάσεις [18].

Τέλος το πρωτόκολλο 802.11g το οποίο εκπέμπει στα 2.4 GHz με ρυθμούς μετάδοσης κοντά στα 54 Mbps χρησιμοποιεί την OFDM τεχνική διαμόρφωσης. Το πρωτόκολλο 802.11g δεν είναι συμβατό με τις συσκευές

που υποστηρίζουν το 802.11a αφού εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες. Το βασικό πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου είναι ότι εμπεριέχει κώδικα διόρθωσης λαθών που είναι πολύ χρήσιμο για την σωστή επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη.

1.2.4 Τύποι ασύρματων συσκευών

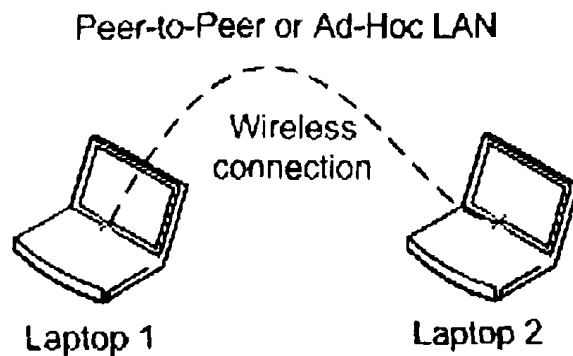
Το ασύρματο σημείο πρόσβασης, AP είναι η κεντρική ασύρματη συσκευή που συνδέει τις διάφορες ασύρματες συσκευές μεταξύ τους αλλά και με το ενσύρματο δίκτυο χωρίς τη φυσική σύνδεση με κάποιον υπολογιστή. Τα AP χρησιμοποιούν δύο τοπολογίες, την τοπολογία δικτύου με τη χρήση σημείου πρόσβασης (infrastructure) και την τοπολογία ομότιμου ή εξειδικευμένου δικτύου (peer-to-peer ή ad-hoc). Στην infrastructure όλοι οι προσαρμογείς δικτύου επικοινωνούν ο ένας με τον άλλο μέσω ενός κεντρικού σημείου πρόσβασης. Αυτό το σημείο πρόσβασης χορηγεί άδεια σε κάθε συσκευή καθορίζει το κανάλι επικοινωνίας και τη συχνότητα επικοινωνίας. Στην Εικόνα 1.10 παρουσιάζεται η τοπολογία δικτύου με τη χρήση σημείου πρόσβασης.



Εικόνα 1.10. Τοπολογία δικτύου με τη χρήση σημείου πρόσβασης.

Στην τοπολογία ομότιμου δικτύου όλοι οι υπολογιστές μπορούν να επικοινωνήσουν ομότιμα ο ένας με τον άλλον ελλείψει ενός σημείου πρόσβασης. Αυτή η τοπολογία όμως έχει κάποιους περιορισμούς όπως τον ανώτατο αριθμό των clients που μπορούν να συνδεθούν, περιορισμούς λόγω απόστασης καθώς και λιγότερες υποστηριζόμενες λειτουργίες. Το

σημαντικότερο όφελος αυτής της υποδομής είναι το χαμηλό της κόστος. Στην Εικόνα 1.11 φαίνεται η διασύνδεση μιας τέτοιας υποδομής.



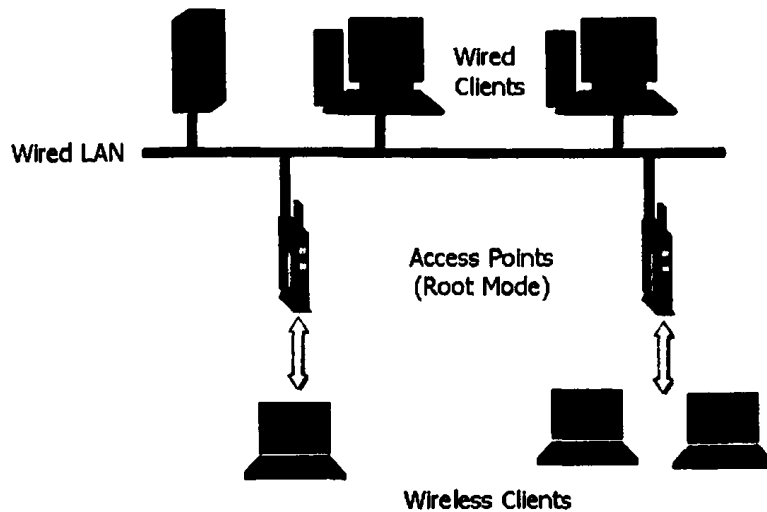
Εικόνα 1.11. Τοπολογία ομότιμου (peer-to-peer) ή εξειδικευμένου (Ad-hoc) δικτύου

Θεωρητικά μπορούν να συνδεθούν έως 253 σταθμοί σε ένα AP, πρακτικά όμως ο αριθμός τους είναι περίπου 10-15 μέσα σε μια ακτίνα 100 μέτρων. Παρόλα αυτά, η ακτίνα επικοινωνίας ποικίλει σημαντικά και αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η τοποθέτηση σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους, πιθανά εμπόδια, το ύψος από το έδαφος, την ύπαρξη άλλων ηλεκτρονικών συσκευών που μπορούν να παρεμβάλλονται στο σήμα όταν εκπέμπουν σε ίδια συχνότητα, τον τύπο της κεραίας, την συχνότητα λειτουργίας και την ισχύ εκπομπής.

Το κάθε AP έχει το δικό του "όνομα δικτύου", SSID (Service Set Identifier) όπως και το δικό του κανάλι εκπομπής που καθορίζεται από τον χρήστη [19]. Η επιλογή διαφορετικού καναλιού στα AP που λειτουργούν σαν αναμεταδότες είναι σημαντική για να αποφευχθεί η συμφόρηση του ενός καναλιού. Το SSID περιλαμβάνεται σε κάθε πακέτο που στέλνεται και χαρακτηρίζει το δίκτυο που εξυπηρετεί το AP. Όλες οι ασύρματες συσκευές που θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους θα πρέπει να έχουν το ίδιο SSID. Το SSID μερικές φορές δεν μεταδίδεται για λόγους ασφαλείας, έτσι ώστε να δίνεται πρόσβαση μόνο σε αυτούς που επιτρέπει ο διαχειριστής.

Τα AP λειτουργούν σε μια από τρεις καταστάσεις. Μια κατάσταση είναι η κατάσταση διαμοιρασμού (Root Mode) [20]. Στην κατάσταση αυτή το AP επικοινωνεί ενσύρματα (Ethernet) με το υπόλοιπο δίκτυο και τα υπόλοιπα AP και ασύρματα με τους πελάτες (Clients). Κάθε πελάτης περνά τα δεδομένα από το AP στο Ethernet και μετά στο διαδίκτυο. Η κατάσταση διαμοιρασμού αποτελεί την προεπιλεγμένη ρύθμιση για τα περισσότερα AP. Η εικόνα 1.12 δείχνει τη διασύνδεση AP σε κατάσταση root.

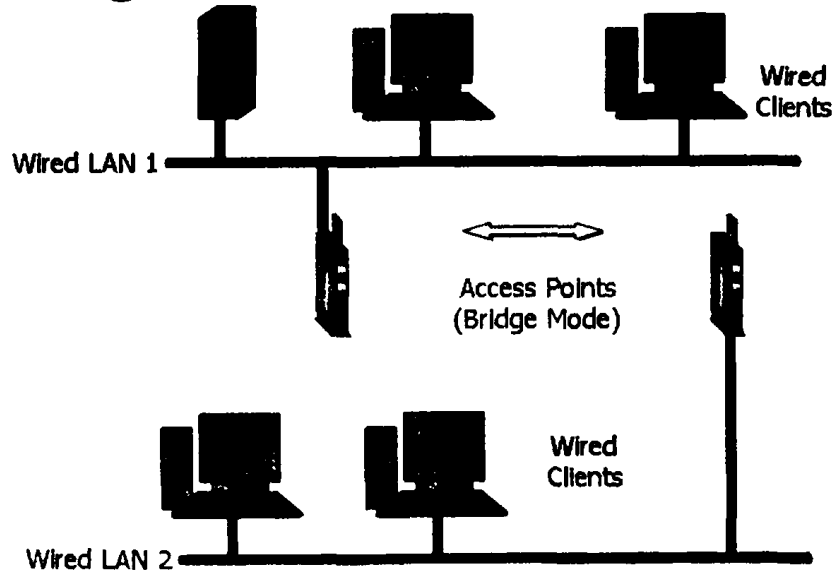
Root Mode



Εικόνα 1.12. Διασύνδεση AP σε κατάσταση διαμοιρασμού.

Μια άλλη κατάσταση λειτουργίας των AP είναι η κατάσταση γεφύρωσης (Bridge Mode) [21]. Στην κατάσταση αυτή το AP επικοινωνεί αποκλειστικά με ένα άλλο AP που λειτουργεί στην ίδια κατάσταση για να συνενώσει δυο ενσύρματα δίκτυα. Σε αυτά τα AP δεν επιτρέπεται η σύνδεση πελατών. Η εικόνα 1.13 δείχνει τον τρόπο λειτουργίας ενός AP σε κατάσταση γεφύρωσης.

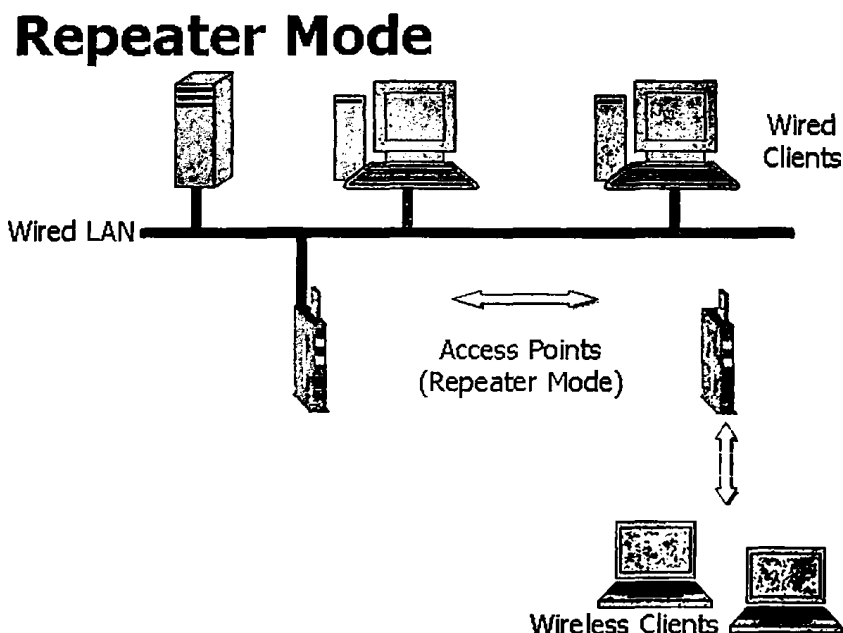
Bridge Mode



Εικόνα 1.13. Κατάσταση γεφύρωσης μεταξύ δύο AP

Τα AP επίσης μπορούν να λειτουργούν και ως επαναλήπτες (Repeater Mode). Στην κατάσταση αυτή το AP στο οποίο συνδέονται οι πελάτες συνδέεται ασύρματα στο δίκτυο αντί της ενσύρματης σύνδεσης και τη χρήση τη θύρας του ενσύρματου δικτύου. Δηλαδή, λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ του πελάτη και ενός AP σε κατάσταση διαμοιρασμού για να έχει

πρόσβαση στο δίκτυο και χρησιμεύει για να επεκτείνει την εμβέλεια του ασύρματου δικτύου ή για να κάνει εφικτή την υλοποίηση ενός ασύρματου δικτύου σε δύσκολο περιβάλλον. Εξαιτίας αυτής της σύνδεσης, τα κελιά γύρω από κάθε AP θα πρέπει να μοιραστούν το κανάλι μειώνοντας δραστικά το εύρος στο οποίο μπορούν να συνδεθούν οι πελάτες στο AP [22]. Η εικόνα 1.14 δείχνει τον τρόπο λειτουργίας ενός AP ως επαναλήπτη.



Εικόνα 1.14. Λειτουργία AP σαν επαναλήπτης.

1.2.5 Τρόπος λειτουργίας ασύρματων συσκευών

Η σωστή λειτουργία κάθε AP έγκειται στην αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των ασύρματων συσκευών. Αξιόπιστη μεταφορά σημαίνει ότι όταν ανιχνεύονται λάθη στα πακέτα, τα πακέτα θα πρέπει να επανεκπέμπονται ή τα λάθη να διορθώνονται. Το πρότυπο 802.11 περιλαμβάνει έναν κώδικα ανίχνευσης λαθών, ενώ στα πρωτόκολλα 802.11a και 802.11g ο κώδικας αυτός είναι πιο βελτιωμένος και περιλαμβάνει και κώδικα διόρθωσης λαθών ενώ παράλληλα υπάρχει και ένας μηχανισμός επιβεβαίωσης για το αν τα πακέτα στάλθηκαν σωστά. Γενικά κατά την ασύρματη μετάδοση πολλά πακέτα φτάνουν στον τελικό αποδεκτή περιέχοντας λάθη.

Στη ραδιο-μετάδοση στην Ευρώπη έχουν οριστεί 13 κανάλια σε απόσταση 5 MHz μεταξύ τους, στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz. Οι κεντρικές συχνότητες είναι 2.412 MHz έως 2.472 MHz. Τα κανάλια, είναι μερικώς επικαλυπτόμενα. Τα μη επικαλυπτόμενα είναι μόνο τρία, τα 1,6 και



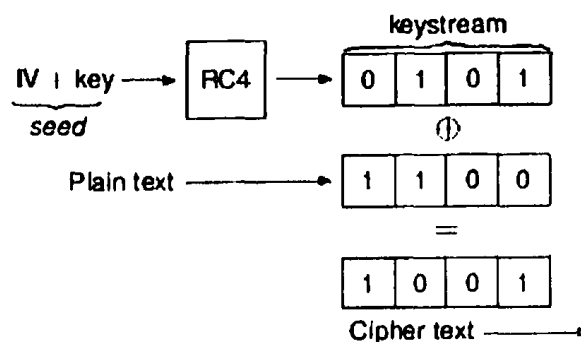
11, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συσκευές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Για τη μετάδοση στο 802.11a έχουν οριστεί 13 κανάλια, εύρους 20 MHz, σε απόσταση 20 MHz μεταξύ τους σε τρεις ζώνες συχνοτήτων. Εδώ δεν υπάρχει επικάλυψη ανάμεσα στα κανάλια. Η χαμηλότερη ζώνη προορίζεται για χρήση σε εσωτερικό χώρο, ενώ η υψηλότερη που έχει τέσσερα κανάλια για χρήση σε εξωτερικό χώρο [23].

Στα ασύρματα δίκτυα υπάρχουν διάφοροι τρόποι ασφάλειας μερικοί από τους πιο βασικούς είναι:

- α) Η Ενσύρματη Ισοδύναμη Ασφάλεια (Wired Equivalent Privacy ή WEP)
- β) Η Ασύρματη Προστατευμένη Ασφάλεια (Wi-Fi Protected Access ή WPA)
- γ) Τα δίκτυα αυτοδύναμης ασφάλειας (Robust Security Network ή RSN)

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία τα AP χρησιμοποιούν ως μηχανισμούς κωδικοποίησης των δεδομένων τον WEP και τον WPA [24].

Το τυποποιημένο WEP έχει μήκος 64 bit και χρησιμοποιεί ένα κλειδί μεγέθους 40 bit, στο οποίο συνδέεται ένα διάνυσμα αρχικοποίησης (initialization vector-IV) μήκους 24 bit για να σχηματίσει το RC4 κλειδί [25]. Ο διαχειριστής δικτύου είναι αυτός που καθορίζει τον τρόπο που θα ανακοινωθεί το κλειδί στους "clients". Οι περιορισμοί της κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής ως προς την κωδικοποίηση του κλειδιού περιορίζαν το μήκος του αρχικά στα 40-bit. Όταν οι περιορισμοί αυτοί άρθηκαν οι κατασκευαστές των ασύρματων σημείων πρόσβασης εισήγαγαν το εκτεταμένο WEP κλειδί των 104-bit. Ένα WEP έχει μήκος 128 bit συνήθως εισάγεται από τον χρήστη ως αλληλουχία 26 Δεκαεξαδικών (Hex) χαρακτήρων (0-9 και A-F), στο οποίο κάθε χαρακτήρας αντιστοιχεί σε 4 bit του κλειδιού ($26 \times 4 \text{ bit} = 104 \text{ bit}$) συν το διάνυσμα αρχικοποίησης των 24-bit. Στην εικόνα 1.15 έχει γίνει μια σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας του WEP.



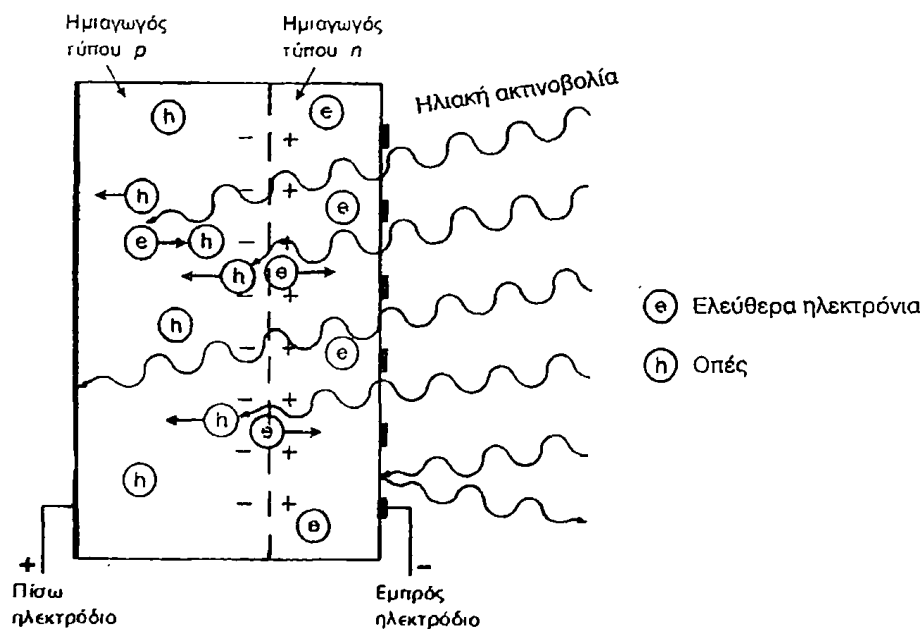
Εικόνα 1.15. Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας του WEP.



Το WEP πρωτόκολλο δεν παρέχει μεγάλη ασφάλεια καθώς όλοι οι χρήστες μοιράζονται το ίδιο κλειδί και το πρόβλημα αυτό λύθηκε με την εμφάνιση του πρωτοκόλλου WPA το οποίο δημιουργήθηκε από την εταιρία Wi-Fi Alliance [26]. Στα AP του συστήματος αναμετάδοσης της ψηφιακής πληροφορίας χρησιμοποιήθηκε το WPA/TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) που είναι μια βελτίωση του WPA και ο σκοπός του είναι να αλλάζει δυναμικά τα κλειδιά καθώς δουλεύει το σύστημα [27].

1.3 Φωτοβολταϊκά

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρική (χωρίς δηλαδή τη μεσολάβηση θερμικών διεργασιών) με εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μπορεί να οριστεί σαν την εμφάνιση τάσης και ηλεκτρικού ρεύματος στα άκρα μιας διάταξης πάνω στην οποία προσπίπτει ιονίζουσα ακτινοβολία. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούν τον ήλιο σαν πηγή ιονίζουσας ακτινοβολίας, για να παράγουν με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο τάση και ηλεκτρικό ρεύμα στα άκρα τους, ονομάζονται φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ο μηχανισμός εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου παρουσιάζεται στην εικόνα 1.16



Εικόνα 1.16. Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο κατασκευάζεται από ημιαγωγίμο υλικό, συνήθως πυρίτιο. Τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού τα οποία με την σειρά τους παίρνοντας την ενέργεια των φωτονίων μεταφέρονται από την ζώνη σθένους του ημιαγωγού στη ζώνη αγωγιμότητας

αφήνοντας στη θέση από την οποία έφυγαν οπές. Τα ηλεκτρόνια απομακρύνονται από τις οπές ώστε να μην μπορούν να επανασυνδεθούν και οδηγούνται στα άκρα του φωτοβολταϊκού πλαισίου με σκοπό να οδηγηθούν στην συνέχεια προς το φορτίο. Τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στην ζώνη σθένους ονομάζονται φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος ή απλά φορείς.

Ανάλογα με τη δομή του πυριτίου ή τον τρόπο κατασκευής του στοιχείου τα φωτοβολταϊκά χωρίζονται σε τέσσερις τύπους:

- **ΦΒ στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)**

Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (~300μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Σε εργαστηριακή μορφή το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 21-24%, ενώ σε μορφή ΦΒ πλαισίων η απόδοση είναι 12-15%.

- **ΦΒ στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (m-Si)**

Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους 10-50 μm Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια του στοιχείου διακρίνονται διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Σε εργαστηριακή μορφή το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 17-20%, ενώ σε μορφή ΦΒ πλαισίων η απόδοσή είναι 15-19%. Τέλος, το κόστος κατασκευής τους είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

- **ΦΒ στοιχεία λεπτών υμενίων**

Είναι λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου, η οποία δημιουργείται από εύκαμπτο υλικό. Το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 13% και περιορισμένη χρήση λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής.

- **ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου**

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το ενεργειακό χάσμα του κυμαίνεται από 1,2 eV έως 1,6 eV, ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής του, ενώ το ενεργειακό χάσμα του κρυσταλλικού είναι 1,1 eV. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να αρκεί ένα λεπτό στρώμα πάχους λίγων μm για την κατασκευή των ΦΒ στοιχείων. Η μικρή ποσότητα χρησιμοποιούμενου υλικού μειώνει το κόστος παραγωγής.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η ισχύς αιχμής, δηλαδή η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Standard Test Conditions ή STC) και έχει σαν μονάδα μέτρησης το Wp (Watt pick). Οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι οι ακόλουθες:



- Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού πλαισίου ίση με $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{STC} = 1\text{kW}/\text{m}^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού
- Μάζα αέρα $AM=1.5$ ($AM=1/\cos(Z)$ όπου Z η ζενίθια γωνία).
- Κάθετη πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια, που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα δίνεται από τη σχέση [28]:

$$E_{m\pi} = E_{HA} * \frac{P_{p\pi}}{P_{STC}} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\delta} \text{ [kWh]}, \quad (1.4.1)$$

όπου

E_{HA} : Ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (προκύπτει από πίνακες)

$P_{p\pi}$: Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκού πλαισίου

P_{STC} : Ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες

Και σ_{γ} , σ_{ρ} , σ_{θ} , σ_{δ} οι συντελεστές γήρανσης, ρύπανσης, θερμοκρασίας και απωλειών διόδου.

- $\sigma_{\gamma} = 0.90$ ο συντελεστής γήρανσης μεταβάλλεται κάθε χρόνο ενώ για μια δεκαετή μελέτη του συστήματος λαμβάνεται ένας μέσος συντελεστής γήρανσης ίσος με 0.90.
- $\sigma_{\rho} = 0.90$ ο συντελεστής ρύπανσης εάν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι ελαφρώς σκονισμένο λαμβάνεται ίσος με 0.90.
- $\sigma_{\theta} = 1 - [(t_a + 30) - 25] * 0.004$ ο συντελεστής θερμοκρασίας. Όπου t_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα και λαμβάνεται για τον μήνα Δεκέμβριο για τον οποίο γίνονται και οι υπόλοιποι υπολογισμοί διότι αυτόν τον μήνα επικρατεί η μικρότερη ηλιοφάνεια του έτους.
- $\sigma_{\delta} = 0.99$ ο συντελεστής απωλειών διόδου.

Στον υπολογισμό της ισχύος που πρέπει να έχει μια φωτοβολταϊκή συστοιχία για να καλύπτει τις ανάγκες του συστήματός μας λαμβάνονται υπόψη και κάποιο άλλοι συντελεστές όπως

- $\sigma_{\kappa} = 0.98$ ο συντελεστής καλωδιώσεων που αφορά τις απώλειες που έχουμε στο σύστημά μας και οφείλονται στις καλωδιώσεις
- $\sigma_{\alpha} = 0.98$ ο συντελεστής ανομοιογένειας των πλαισίων που αφορά στις απώλειες λόγω ανομοιογένειας μεταξύ των χαρακτηριστικών I-V των πλαισίων και οι οποίες οφείλονται στο ότι άλλα πλαίσια είναι ελαφρώς σκονισμένα και άλλα όχι, άλλα σκιάζονται ενώ άλλα όχι και ούτω καθ' εξής.

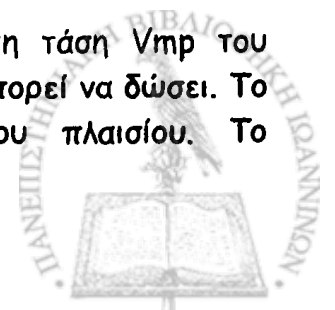


Επιδή όμως όλοι αυτοί οι συντελεστές είναι σταθεροί εκτός από τον συντελεστή θερμοκρασίας, τελικά λαμβάνονται σαν ένας με την ονομασία συντελεστής απωλειών συστήματος και ο οποίος τελικά ισούται με : $\sigma_{ΑΣ} = 0.77 * \sigma_{\theta}$. Τέλος ένας πολύ σημαντικός συντελεστής που παίζει μεγάλο ρόλο στην απόδοση του συστήματος είναι ο συντελεστής μεταφοράς ενέργειας σ_{μ} ο οποίος αφορά τις απώλειες που υφίσταται το σύστημα από την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας έως την έξοδο προς την κατανάλωση. Ο συντελεστής αυτός μετρήθηκε στα εργαστήρια του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε υπερπυκνωτές με τη χρήση DC-DC μετατροπέων τάσης και βρέθηκε ίσος με 0.80.

Η ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται από την σχέση $P_{p\Sigma} = \frac{E_k * P_{STC} * \eta}{E_{HA} * \sigma_{ΑΣ} + \sigma_{\mu}}$ [kWp]. E_k είναι η συνολική ενέργεια που καταναλώνει το σύστημά μας και η είναι ο συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων που χρησιμοποιείται για να καλυφθεί μια πιθανή υποτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων των φορτίων στην έξοδο. Ο συντελεστής αυτός λαμβάνεται ίσος με 1.2. Επίσης αν απαιτείται το σύστημά να έχει κάποιες μέρες αυτονομίας θα πρέπει να πολλαπλασιασθεί η απαιτούμενη ισχύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με το πηλίκο $\frac{N}{N-n}$ όπου N είναι το σύνολο των ημερών του μήνα για τον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί και n οι ημέρες αυτονομίας που πρέπει να έχει το σύστημά μας.

Το πηλίκο $\frac{P_{p\Pi}}{S_{\Pi}}$, όπου S_{Π} η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου, δίνει την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Έτσι αν για παράδειγμα το φωτοβολταϊκό πλαίσιο έχει ισχύ αιχμής 54 Wp με διαστάσεις 0.639m X 0.652m η απόδοσή του είναι $\eta_{STC} = 0.1298$ ή 12,98% υπολογισμένη στις πρότυπες συνθήκες. Στις πρότυπες συνθήκες το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά δύναται να εκμεταλλευτεί το φωτοβολταϊκό σύστημά είναι εν γένει μικρό. Για το λόγο λοιπόν αυτό τα ηλεκτρονικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα πρέπει να έχουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση αλλά παράλληλα να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η σκίαση και η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου με συνεχή αλλαγή του προσανατολισμού του φωτοβολταϊκού πλαισίου καταναλώνουν και αυτά κάποια ενέργεια. Για τα Ιωάννινα η βέλτιστη απόδοσης γωνία των φωτοβολταϊκών ως προς το αζιμούθιο βρέθηκε ότι είναι 45° και ο προσανατολισμός τους νότιος. Σε αυτή τη θέση ο μέσος όρος της ηλιακής ακτινοβολίας βρέθηκε να είναι 120 kWh/(m² x μήνα).

Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο είναι η μέγιστη τάση V_{mp} του φωτοβολταϊκού στοιχείου και το μέγιστο ρεύμα I_{mp} που μπορεί να δώσει. Το γινόμενο τους δίνει το σημείο μέγιστης ισχύος του πλαισίου. Το



σημαντικότερο από τα δύο αυτά μεγέθη είναι η μέγιστη τάση την οποία χρησιμοποιούμε στους υπολογισμούς της συνολικής τάσεως της συστοιχίας. Είναι γνωστό ότι όταν N φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται σε σειρά η συνολική τάση στα άκρα της συστοιχίας ισούται με το άθροισμα των επιμέρους τάσεων των στοιχείων και διαρρέονται από ένα κοινό ρεύμα ενώ όταν τα στοιχεία συνδέονται παράλληλα γίνεται το αντίστροφο.

Άλλο χαρακτηριστικό ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} το οποίο είναι πολύ σημαντικό για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών. Η τιμή του μέγιστου ρεύματος που πρέπει να αντέχει ο αγωγός συνεχούς τάσης χωρίς να καταστραφεί πρέπει να είναι $1.25I_{sc}$, όπου I_{sc} είναι η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και υπολογίζεται αν αθροισθούν τα επιμέρους ρεύματα βραχυκύκλωσης του κάθε κλάδου. Ο συντελεστής 1.25 λαμβάνεται για να καλυφθεί η περίπτωση που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από 1 kW/m^2 και αυτό μπορεί να συμβεί σε συνθήκες καθαρού ουρανού μετά από βροχή.

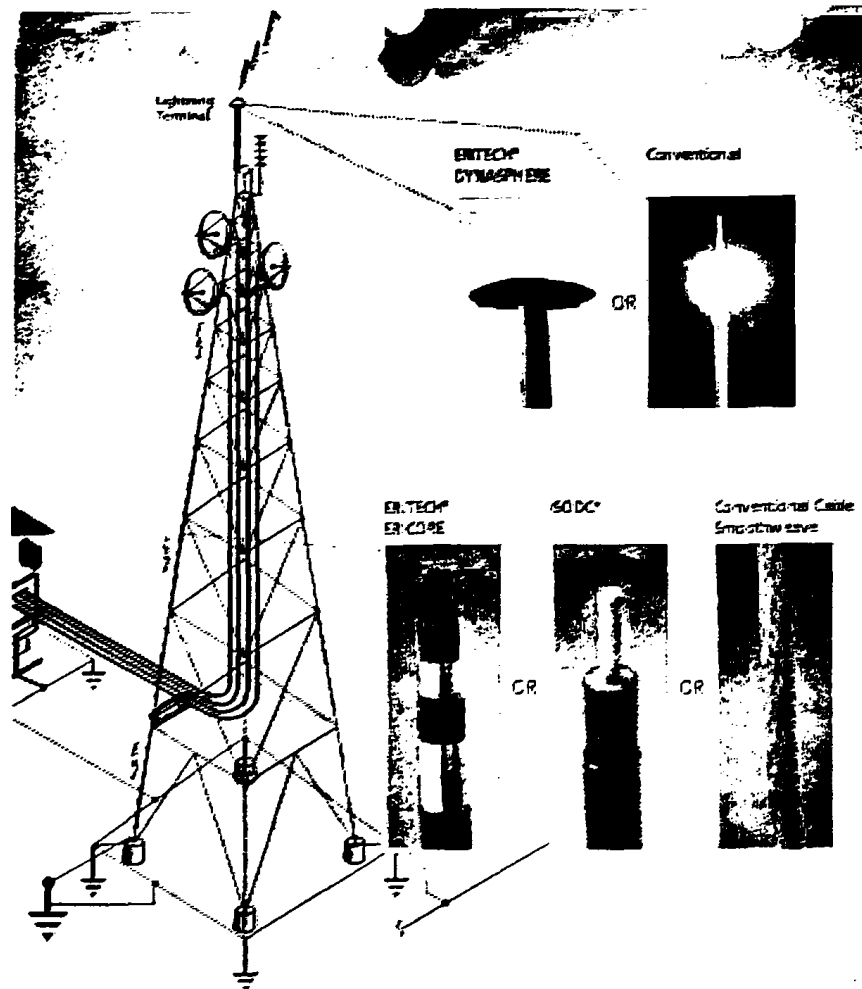
1.4 Πύργοι αναμεταδοτών

Ένα από τα κύρια στοιχεία του αναμεταδότη είναι ο πύργος στήριξης των κεραιών και των υπόλοιπων εξαρτημάτων. Ο πύργος πρέπει να είναι μια στιβαρή κατασκευή με αρκετό ύψος από το έδαφος για να υπάρχει περιθώριο τοποθέτησης των στοιχείων του συστήματος χωρίς το φόβο της καταστροφής τους από καιρικά φαινόμενα και να αποφεύγονται προβλήματα από εμπόδια στην πρώτη ζώνη Fresnel. Χωρίζονται στους δικτυωτούς, οι οποίοι πακτώνονται στο έδαφος, και τους πύργους τύπου λεπτής κολώνας που στηρίζονται σε επίτονα ή πακτώνονται στο έδαφος. Πιο αξιόπιστη κατασκευή θεωρούνται οι δικτυωτοί πύργοι και αυτό οφείλεται στην ακαμψία τους και στο γεγονός ότι παρέχουν αρκετό χώρο για την τοποθέτηση των επιμέρους τμημάτων του αναμεταδότη. Λόγω βλαβών που μπορεί να προκληθούν στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό από κρουστικές υπερτάσεις των οποίων η διάρκεια κυμαίνεται από 10^{-6} έως και 10^{-3} s και οφείλονται σε κεραυνούς, βραχυκυκλώματα κ.λ.π. αλλά και για την ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται στην επισκευή τους, κάθε πύργος θα πρέπει να γειώνεται. Για να γίνει μια σωστή κατασκευή ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας θα πρέπει αρχικά να γίνει μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Η ειδική αντίσταση του εδάφους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή των ηλεκτροδίων γείωσης και στον τρόπο τοποθέτησής τους στο χώρο. Είναι γνωστό ότι πολλά εδάφη στην Ελλάδα παρουσιάζουν υψηλές τιμές ειδικής



αντίστασης, έχοντας ως κύριο χαρακτηριστικό συστατικό τους συμπαγείς βράχους [29]. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να βελτιωθεί η ειδική αντίσταση του εδάφους όπως η τοποθέτηση αλατιού στο έδαφος πλησίον των ηλεκτροδίων της γείωσης. Σε κάθε περίπτωση πάντως όσο πιο μικρή είναι η ειδική αντίσταση του εδάφους και η αντίσταση γείωσης τόσο πιο αποτελεσματικό είναι και το σύστημα προστασίας. Στην εικόνα 1.17 φαίνεται ο τρόπος γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας ενός αναμεταδότη. Ο δακτύλιος γείωσης είναι ο αγωγός στον οποίο είναι συνδεδεμένα τα ηλεκτρόδια της γείωσης και μπορεί να έχει σχήμα τριγώνου ή πολυγώνου ανάλογα με τον αριθμό των ηλεκτροδίων της γείωση. Στον δακτύλιο της γείωσης καταλήγει και ο αγωγός γείωσης ο οποίος ξεκινάει από την κορυφή του πύργου και στον οποίο ενώνονται όλα τα εξαρτήματα που θέλουμε να γειώσουμε. Στα εξαρτήματα αυτά ανήκουν τα καλώδια των κεραιών τα οποία γειώνονται με τον αγωγό γείωσης με ειδικούς συνδέτες που περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο, τα κουτιά μέσα στα οποία θα τοποθετηθούν τα AP και οι υπερπυκνωτές μαζί με συστήματα χρονισμού είναι μεταλλικά με προδιαγραφές τύπου IP66 (IP66 GW 7629X), το καλώδιο Ethernet το οποίο έχει μεταλλική θωράκιση τύπου πλέγματος (S/STP) και από το οποίο διέρχονται τα δεδομένα που πηγαίνουν προς τα AP, ο απαγωγός υπερτάσεων για την προστασία του καλωδίου της κεραίας, καθώς και ο απαγωγός υπερτάσεων θηλυκού τύπου του καλωδίου Ethernet (PoE Protection) που περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο και είναι τοποθετημένος μέσα στο κουτί με τα AP. Τα AP τοποθετούνται σε μεταλλική βάση μέσα στο κουτί έτσι ώστε να συγκρατούνται μεταξύ τους με μεταλλικές βίδες ώστε όλο το σύστημα να είναι γειωμένο με το κουτί το οποίο με τη σειρά του συνδέεται με τον αγωγό γείωσης. Τα υλικά γείωση επιλέχθηκαν και αγοράστηκαν από την εταιρία ΕΛΕΜΚΟ [30].



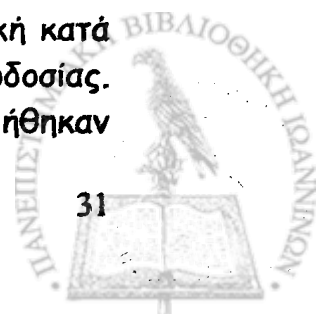


Εικόνα 1.17 . Αντικεραυνική προστασία αναμεταδότη.

Στην εικόνα 1.17 ο δακτύλιος της γείωσης βρίσκεται τοποθετημένος ακριβώς κάτω από τον πύργο αλλά θα μπορούσε να έχει τοποθετηθεί και σε άλλο σημείο ανάλογα με την ειδική αντίσταση του εδάφους. Βέβαια όχι και σε πολύ μεγάλη απόσταση από τον πύργο διότι έτσι θα αυξάνονταν οι απώλειες στο χαλκό λόγω μήκους του καλωδίου αλλά και το κόστος τα εγκατάστασης [31]. Ο πύργος που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι δικτυωτού τύπου, έχει ισοσκελή τριγωνική διατομή πλευράς 16cm και ύψος 4m και είναι της εταιρίας IKUSI [32].

1.5 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας - Υπερπυκνωτές

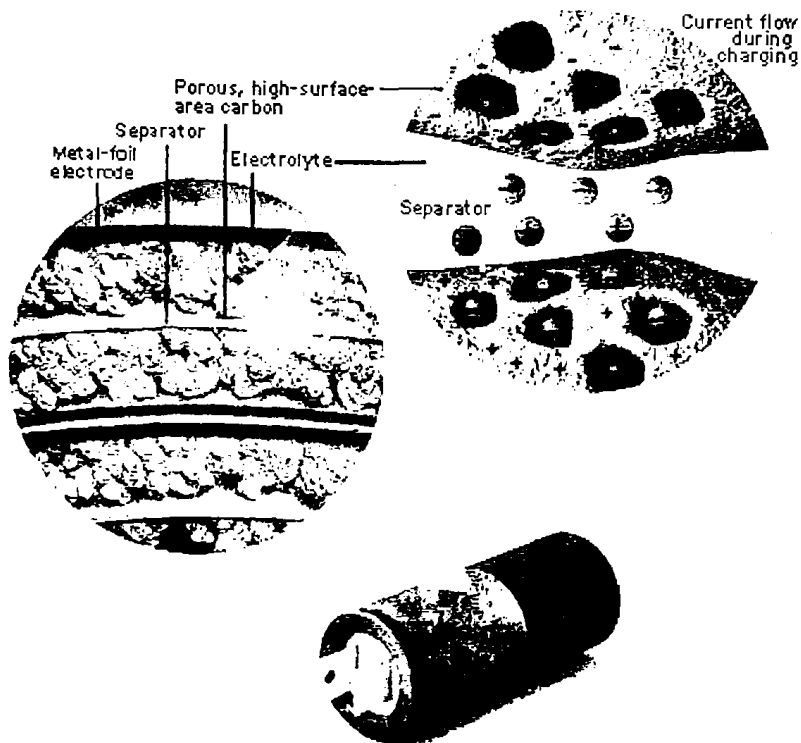
Στα αυτόνομα συστήματα τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας μπαταρίες, υπερπυκνωτές ή άλλα συστήματα. Οι μπαταρίες ως γνωστόν μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική κατά τη διαδικασία αποθήκευσης και αντίστροφα κατά τη διαδικασία τροφοδοσίας. Θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στους υπερπυκνωτές οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν



στο συγκεκριμένο σύστημα για αποθήκευση ενέργειας. Οι υπερπυκνωτές χωρίζονται σε διάφορα είδη ανάλογα με τον τρόπο που αποθηκεύουν ενέργεια. Τις τρεις βασικές κατηγορίες αποτελούν οι ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (electric double-layer capacitor ή EDLC), οι Ψευδοπυκνωτές (Pseudocapacitors) και οι Υβριδικοί πυκνωτές.

Οι πυκνωτές διπλού στρώματος δεν χρησιμοποιούν κάποιο συμβατικό διηλεκτρικό όπως οι απλοί πυκνωτές. Οι οπλισμοί τους κατασκευάζονται από μια μικροδομή στοιχείων άνθρακα, έχουν μεγάλη εσωτερική επιφάνεια και βρίσκονται βυθισμένοι σε υγρό ηλεκτρολύτη, ο οποίος περιέχει ελεύθερα φορτία σε μορφή ιόντων. Ανάμεσά τους παρεμβάλλεται μια εξαιρετικά πορώδης διαχωριστική μεμβράνη η οποία η οποία εμποδίζει την επαφή των οπλισμών, αφήνοντας παράλληλα τα ιόντα να την διαπερνούν. Τα ηλεκτρόνια τα οποία είναι συγκεντρωμένα στο ένα ηλεκτρόδιο, έλκουν τα θετικά ιόντα του ηλεκτρολύτη και τα θετικά φορτία στο άλλο ηλεκτρόδιο έλκουν τα αρνητικά ιόντα. Έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο συγκρατεί στον πυκνωτή το συγκεντρωμένο φορτίο. Ο όρος "double layer" χρησιμοποιείται για να δηλωθούν τα δύο στρώματα ιόντων σε κάθε οπλισμό. Η μεγάλη επιφάνεια των οπλισμών που επιτυγχάνεται λόγω της πορώδους δομής τους σε συνδυασμό με το διπλό στρώμα ιόντων είναι αυτά που επιτρέπουν σε αυτού του είδους τους πυκνωτές να έχουν υψηλές τιμές χωρητικότητας (~ 5000 F). Παρ' όλ' αυτά στους πυκνωτές αυτούς λόγω του διπλού στρώματος ιόντων θα πρέπει να διατηρείται η τάση στα άκρα τους σε χαμηλή τιμή για να μην καταστραφούν. Για το λόγω αυτό όλοι οι EDLC πυκνωτές έχουν ονομαστικές τάσεις λειτουργίας 2,5 ή 2,7 Volt και τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για να τους φορτίζουν χρησιμοποιούν έλεγχο εξισορρόπησης (balancing) ως προς την τάση ώστε να μην ξεπερνιούνται οι παραπάνω τιμές. Έτσι λοιπόν αν θέλουμε να πετύχουμε υψηλές τάσεις από πυκνωτές αυτού του τύπου θα πρέπει να συνδέσουμε πολλούς σε σειρά ή να χρησιμοποιήσουμε κυκλώματα ανύψωσης τάσης. Τα κυκλώματα όμως ανύψωσης τάσης μειώνουν την απόδοση του συστήματος και για το λόγω αυτό είναι προτιμότερο να αποφεύγονται αν είναι δυνατόν. Στην εικόνα 1.18 φαίνεται το εσωτερικό ενός EDLC πυκνωτή.

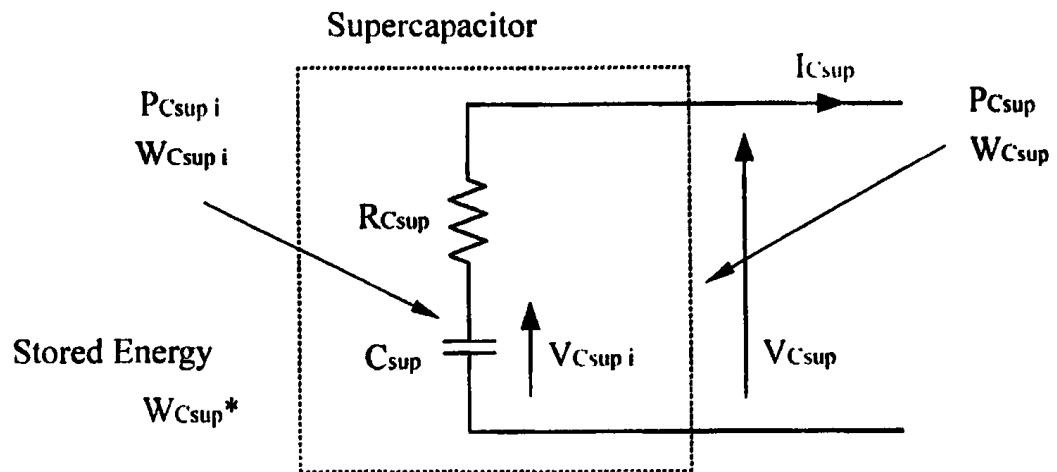




Εικόνα 1.18. Εσωτερικό EDLC πυκνωτή.

Το υλικό κατασκευής των οπλισμών των ψευδοπυκνωτών δεν είναι ο ενεργός άνθρακας αλλά οξειδία όπως το διοξείδιο του ρουθηνίου και το διοξείδιο του μαγνησίου (RuO_2 , MgO_2) εμπλουτισμένα σε ενεργό άνθρακα. Οι πυκνωτές αυτοί δεν είναι ιδιαίτερα εμπορικοί παρ' όλο που αποτελούν την τελευταία γενιά υπερπυκνωτών λόγω του υψηλού κόστους τους. Τέλος, οι υβριδικοί είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν πυκνωτές EDLC ως μέσω αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας.

Η αποθηκευμένη ενέργεια σε έναν υπερπυκνωτή γενικά δίνεται από τη σχέση $W_{C_{SUP}} = \frac{1}{2} C_{SUP} V_{C_{SUP}}^2$ ενώ η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια εκφόρτισής του από την ονομαστική τάση στην τάση εκφόρτισης δίνεται από $W_{C_{SUP}} = \frac{1}{2} C_{SUP} (V_{C_{SUP,max}}^2 - V_{C_{SUP,min}}^2)$. Όμως κάθε πυκνωτής έχει μια χαρακτηριστική εσωτερική αντίσταση που τον χαρακτηρίζει ($R_{C_{SUP}}$) η οποία τελικά λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του τύπου του υπερπυκνωτή που θα χρησιμοποιηθεί αφού παίζει καθοριστικό ρόλο στις απώλειες. Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός υπερπυκνωτή φαίνεται στην εικόνα 1.19.



Εικόνα 1.19. Μοντέλο ενός υπερπυκνωτή.

Η τάση στα άκρα της χωρητικότητας, δίνεται από τη σχέση $V_{C_{sup}i} = V_{C_{sup}} + R_{C_{sup}} * I_{C_{sup}}$ ενώ η ισχύς που καταναλώνεται στην έξοδο είναι $P_{C_{sup}} = V_{C_{sup}} * I_{C_{sup}}$. Η ενέργεια όμως που αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή αποθηκεύεται στη χωρητικότητά του και επομένως αν αντικαταστήσουμε τις δύο τελευταίες σχέσεις στην αρχική σχέση για την ενέργεια θα προκύψει για την ενέργεια η πιο κάτω σχέση.

$$W_{C_{sup}} = \left(\frac{1}{2} * \frac{C_{sup}}{I_{sup}^2} \right) * P_{C_{sup}}^2 + \left(R_{C_{sup}} * C_{sup} \right) * P_{C_{sup}} + \left(\frac{1}{2} * R_{C_{sup}}^2 * C_{sup} * I_{C_{sup}}^2 \right), \quad (1.6.1)$$

και τελικά η αποδιδόμενη από τον υπερπυκνωτή ενέργεια στο σύστημα ισούται με την ενέργεια λόγω πτώσης τάσης στα άκρα του πυκνωτή μείον την ενέργεια που καταναλώνεται στην εσωτερική του αντίσταση και θα δίνεται από τη σχέση

$$\Delta W = \frac{1}{2} C_{sup} (V_{C_{sup}max}^2 - V_{C_{sup}min}^2) - \left[\frac{1}{2} * \frac{R_{C_{sup}}^2 * C_{sup}}{V_{C_{sup}max}^2} + R_{C_{sup}} * C_{sup} * P_{C_{sup}}^2 \right], \quad (1.6.2)$$

Η τάση στα άκρα του πυκνωτή σε συνάρτηση με τον χρόνο είναι $V = \int_0^t \frac{i}{C} dt + iR$ ή αλλιώς σε διαφορική μορφή $dV = i * \frac{dt}{C_{sup}} + i * R_{C_{sup}}$, dV είναι η διαφορά μεταξύ της ονομαστικής τάσης λειτουργίας και της ελάχιστης τάσης εκφόρτισης. Το ρεύμα i θεωρείται σταθερό κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και λαμβάνεται ίσο με τη μέση τιμή του ρεύματος που προκύπτει αν διαιρεθεί η ισχύς του φορτίου της κατανάλωσης με την ονομαστική τάση λειτουργίας και με την ελάχιστη τάση κατά την διάρκεια της εκφόρτισης. Αν για παράδειγμα στην έξοδο έχουμε ένα φορτίο και η καταναλισκόμενη ισχύς είναι 10kW ενώ η ονομαστική τάση στην έξοδο είναι $V_{C_{sup}w} = 56V$ και η ελάχιστη $V_{C_{sup}min} = 25V$ τότε αντίστοιχα το ελάχιστο ρεύμα θα είναι $i_{min} = \frac{10kW}{56V} = 179A$ και το μέγιστο $i_{max} = \frac{10kW}{25V} = 400A$ ενώ η μέση τιμή

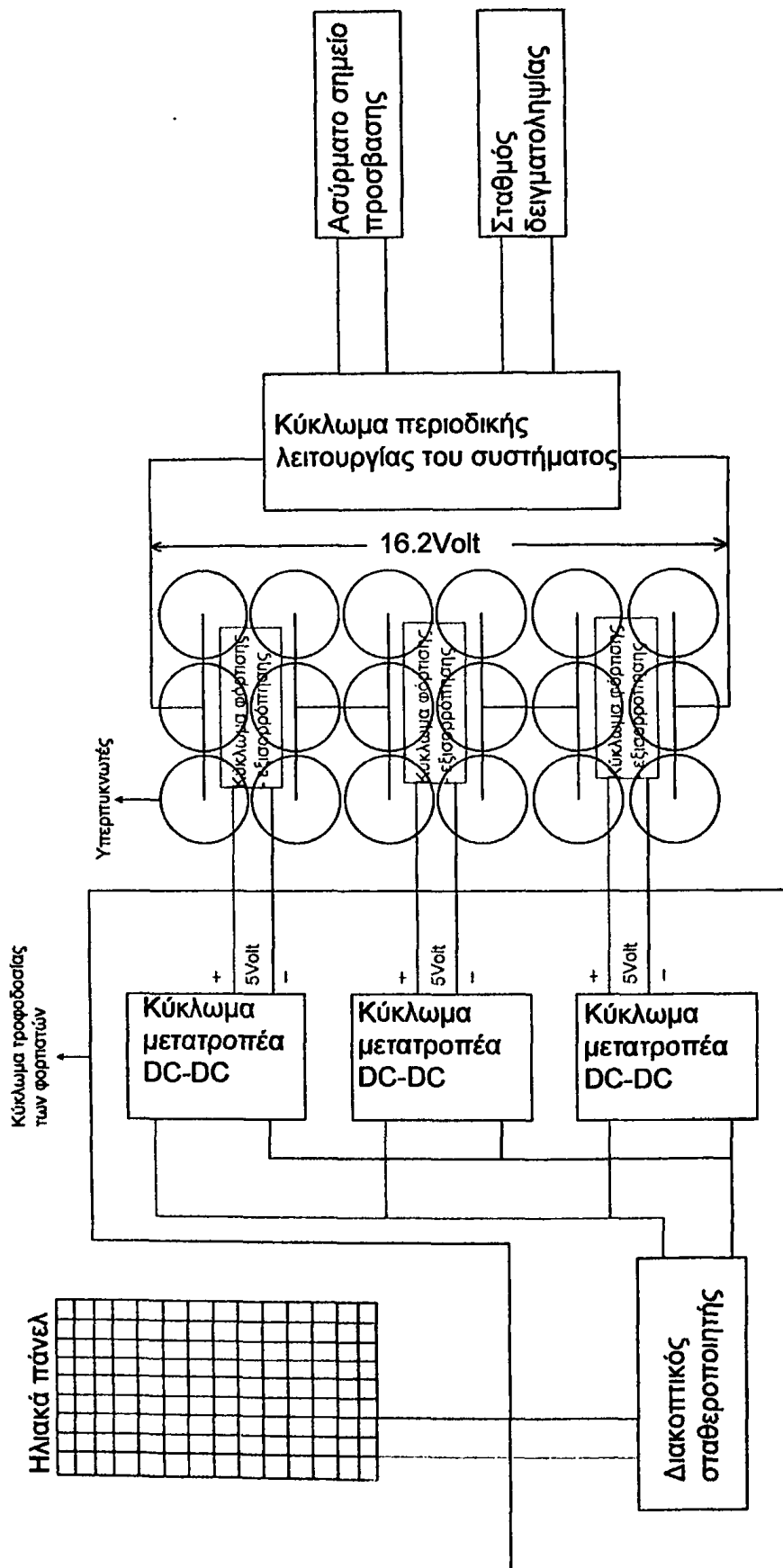


τους $i_{avg} = 379 \text{ A}$. Για ένα σύστημα το οποίο λειτουργεί για γνωστό χρονικό διάστημα και στο οποίο θα χρησιμοποιήσουμε υπερπυκνωτές γνωστής εσωτερικής αντίστασης μπορούμε από την πιο πάνω σχέση να υπολογίσουμε την συνολική χωρητικότητα του συστήματος. Ο αριθμός των σε σειρά συνδεδεμένων στοιχείων προκύπτει αν διαιρέσουμε την μέγιστη τάση λειτουργίας του συστήματος με την τάση του κάθε πυκνωτή. Η χωρητικότητα της σειράς προκύπτει αν διαιρέσουμε την χωρητικότητα του ενός με των πλήθος των σε σειρά στοιχείων. Τέλος η συνολική χωρητικότητα προκύπτει από τη χωρητικότητα της κάθε σειράς επί το πλήθος των σειρών. Για τον υπολογισμό της συνολικής εσωτερικής αντίστασης του συστήματος γίνεται ακριβώς η αντίστροφη διαδικασία[33,34,35].

2. Ασύρματο σύστημα αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

2.1 Το ηλεκτρονικό μέρος του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας

Το κύκλωμα αποθήκευσης ενέργειας στους υπερπυκνωτές σχεδιάστηκε ώστε να έχει την βέλτιστη δυνατή απόδοση και ταυτόχρονα να εξισορροπεί τη φόρτιση των υπερπυκνωτών. Το σύστημα υλοποιήθηκε ώστε να είναι εύκολη η τοποθέτησή του σε στύλο και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία επιλέχθηκε να τοποθετηθούν υπό σταθερή γωνία. Με βάση την βιβλιογραφία για τον τρόπο υπολογισμού του προσανατολισμού και της βέλτιστης γωνίας κλίσης των στοιχείων και με βάση αυτά που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο επιλέχθηκε ο προσανατολισμός των στοιχείων να είναι νότιος με σταθερή γωνία κλίσης 45° . Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν είναι δύο ηλιακά πάνελ της εταιρίας Sunrise με μέγιστη ισχύ εξόδου 20 Watt έκαστο, μέγιστη τάση εξόδου 17.5 Volt και μέγιστο ρεύμα εξόδου 1.14 A. Το γενικό διάγραμμα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας φαίνεται στην εικόνα 2.1. Για την τροφοδοσία των AP στους αναμεταδότες χρησιμοποιήθηκαν 18 υπερπυκνωτές της εταιρίας Maxwell Technologies χωρητικότητας από 350 F ο καθένας. Η συστοιχία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την τροφοδοσία του AP και των υπόλοιπων στοιχείων της δειγματοληψίας. Έξι υπερπυκνωτές τοποθετήθηκαν στην σειρά ώστε η συνολική τάση στα άκρα τους να είναι $2.7 \cdot 6 = 16.2$ Volt και η χωρητικότητά τους $350/6 = 58.33$ F. Τρεις τέτοιες σειρές συνδέθηκαν παράλληλα με σκοπό να αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα του συστήματος, η οποία τελικά υπολογίστηκε ότι είναι $58.33 \cdot 3 = 175$ F.



Εικόνα 2.1. Γενικό διάγραμμα σύνδεσης των υπερπικνωτών.

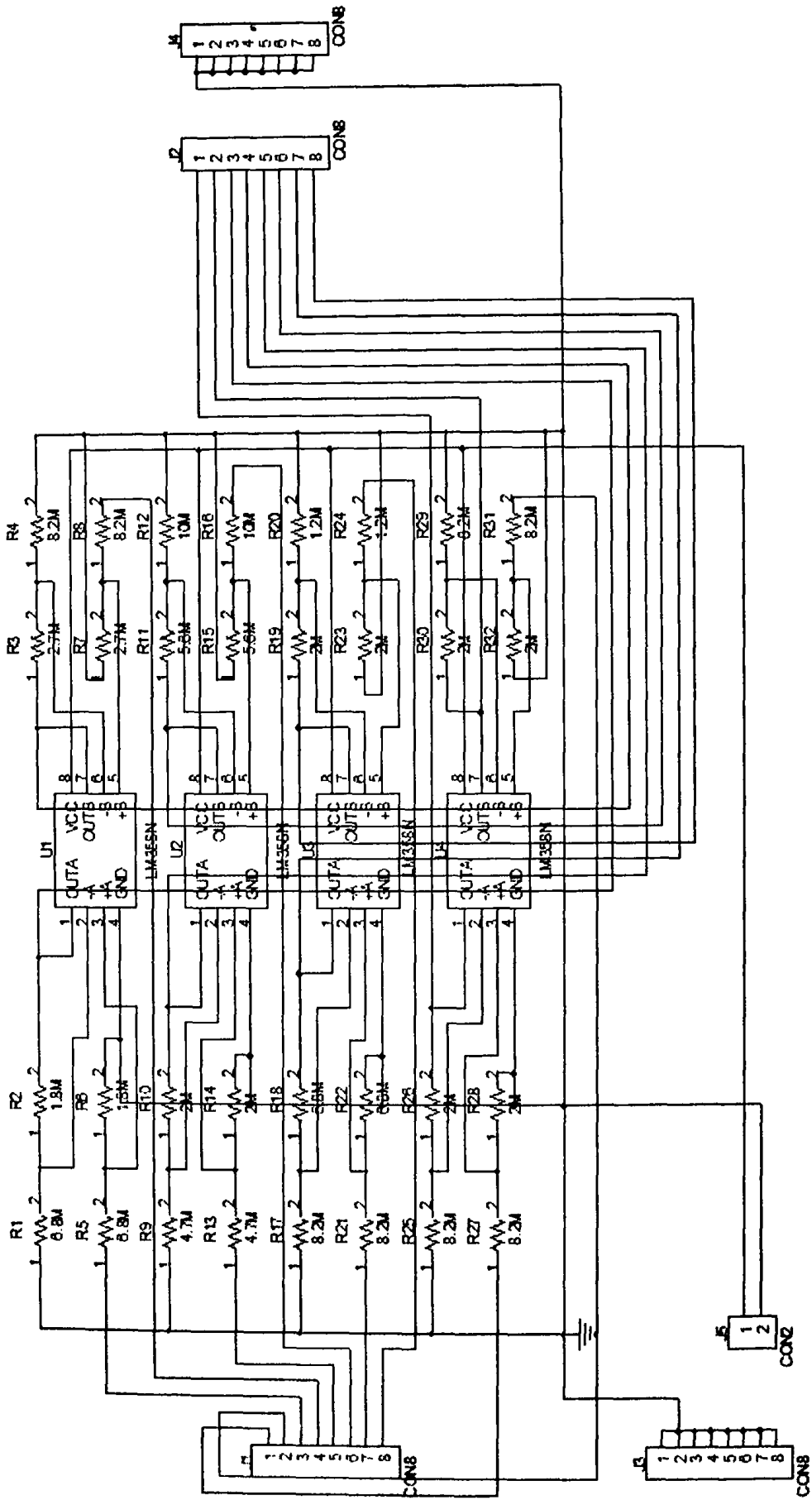
Στην εικόνα 2.1 φαίνονται οι πλακέτες τροφοδοσίας των φορτιστών, τα κυκλώματα φόρτισης - εξισορρόπησης, οι υπερπυκνωτές, το σύστημα περιοδικής λειτουργίας των αναμεταδοτών, τα AP και οι σταθμοί δειγματοληψίας και η συνδεσμολογία μεταξύ τους. Η φόρτιση γίνεται αν δύο παράλληλες τριάδες υπερπυκνωτών. Η κάθε πλακέτα τροφοδοτείται με τάση 5 Volt από έναν μετατροπέα DC-DC που χρησιμοποιεί απομόνωση της τάσης εξόδου από την τάση εισόδου. Έτσι αποτρέπεται ο κίνδυνος βραχυκύκλωσης των άκρων των υπερπυκνωτών καθώς αυτοί συνδέονται σε σειρά. Οι DC-DC μετατροπείς τροφοδοτούνται από έναν κοινό διακοπτικό σταθεροποιητή τάσης ο οποίος σχεδιάστηκε να σταθεροποιεί την τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στα 5 Volt.

Μετά τους πυκνωτές τοποθετείται ένα κύκλωμα διαχείρισης της τάσης και για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα κύκλωμα χρονισμού με το οποίο είναι δυνατή η περιοδική λειτουργία των αναμεταδοτών και το οποίο συνδέεται με το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου.

2.1.1 Το κύκλωμα ελέγχου της φόρτισης των υπερπυκνωτών.

Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας εξισορρόπησης και φόρτισης των πυκνωτών σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα σύστημα μέτρησης της τάσης τους. Η τάση θα μπορούσε να μετρηθεί με βολτόμετρο αλλά η διαδικασία είναι χρονοβόρα επειδή η φόρτιση διαρκεί χρόνο της τάξης της μιας ώρας. Το κύκλωμα μέτρησης της τάσης περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή που διαθέτει μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter, ADC) και έχει έξι ακροδέκτες για τον ADC.

Στην εικόνα 2.2 φαίνεται το κύκλωμα που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή της τάσης στα άκρα του κάθε υπερπυκνωτή σε αυτή που μπορεί να μετρήσει ο μικροελεγκτής. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι μπορούν να καταγραφούν σε ένα αρχείο οι τιμές της τάσης κατά την διάρκεια της φόρτισης οι οποίες στέλνονται στην σειριακή έξοδο και ο τρόπος καταγραφής τους παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 2.2. Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος μετατροπής της τάσης στα άκρα του κάθε υπερπικνωτή.



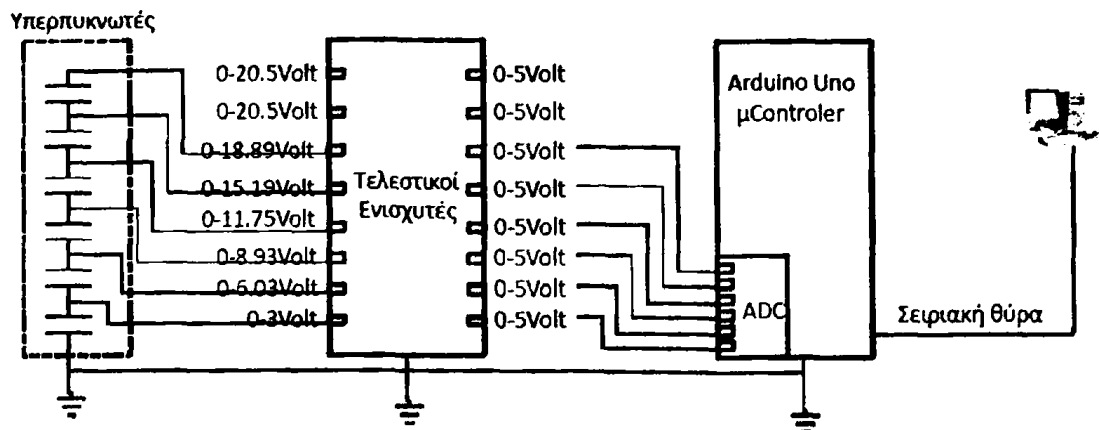
Το ολοκληρωμένο κύκλωμα που επιλέχθηκε είναι το LM358N [36] το οποίο περιέχει δύο τελεστικούς ενισχυτές στο εσωτερικό του. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο είναι γιατί η τροφοδοσία του είναι τα 0-6Volt και δεν χρειάζεται να κατασκευαστεί κάποιο επιπλέον κύκλωμα που να έχει σαν έξοδο του αντεστραμμένη τάση. Πολλοί τελεστικοί ενισχυτές για να λειτουργήσουν χρειάζονται στο ένα άκρο τους αντί για τη γείωση μια αρνητική τάση. Επιπλέον το πλεονέκτημα στη συνδεσμολογία αυτή είναι ότι η επόμενη βαθμίδα που είναι ο μικροελεγκτής και αυτή μπορούν να έχουν κοινή γείωση.

Επειδή η έξοδος του τελεστικού πάει απευθείας στον μικροελεγκτή και οι μικροελεγκτές έχουν συνήθως έξι ή οκτώ ακροδέκτες για τους ADC επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν στην πλακέτα αυτή οκτώ τελεστικοί ή αλλιώς τέσσερα LM358N. Η επιλογή των αντιστάσεων για τον κάθε μικροελεγκτή έγινε με βάση την τάση την οποία τελικά μετράνε και οι ακριβείς τιμές τους βρίσκονται σε πίνακα στο παράρτημα (Παράρτημα Ι.1.1). Στον πίνακα ωστόσο 2.1 παρουσιάζονται οι τιμές των τάσεων εξόδου E'_{iJ2} των ακροδεκτών i του J2 που τελικά καταλήγουν στον μικροελεγκτή σε συνάρτηση με τις τάσεις E_{iJ1} στις εισόδους των τελεστικών ενισχυτών στους ακροδέκτες i του J1.

ΑΚΡΟΔΕΚΤΗΣ i	Έξοδος E'_{iJ2} (Volt)	Είσοδος E_{iJ1} (Volt)
1	5	3
2	5	6.03
3	5	8.93
4	5	11.75
5	5	15.19
6	5	18.89
7	5	20.5
8	5	20.5

Πίνακας 2.1. Τιμές τάσεων των εισόδου-εξόδου του μετρητικού συστήματος

Έτσι αν στον ακροδέκτη 8 της εισόδου εφαρμοστεί μια τάση 20.5 Volt, στην έξοδο του ακροδέκτη 8 θα μετριοούνται 5 Volt. Το γενικό διάγραμμα του μετρητικού συστήματος φαίνεται και στην εικόνα 2.3.



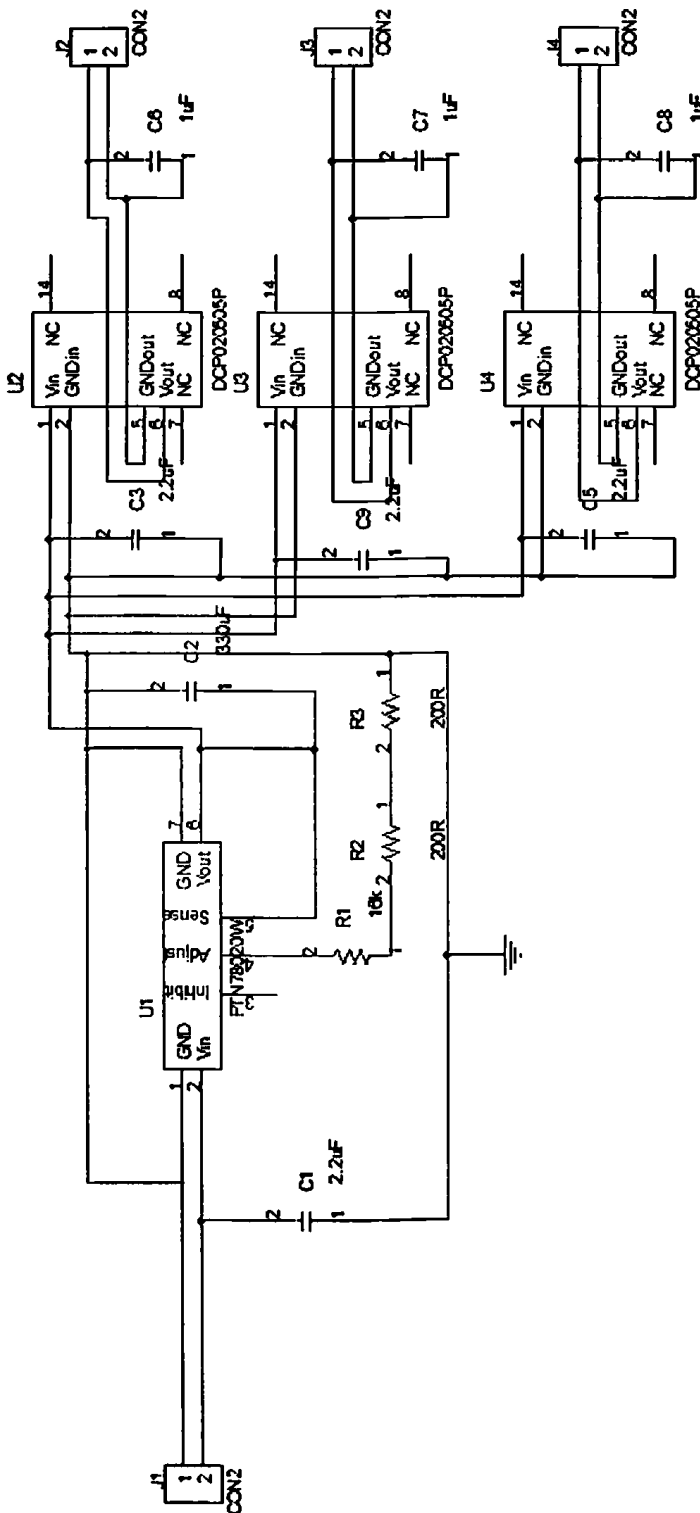
Εικόνα 2.3. Γενικό διάγραμμα μετρητικού συστήματος

Οι έξοδοι του κυκλώματος των τελεστικών ενισχυτών εισήχθησαν ως εισοδοί στους ακροδέκτες του ADC ενός μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής που επιλέχθηκε είναι ο ATMEGA328P ενσωματωμένος στην πλακέτα Arduino Uno της εταιρίας Arduino [37] ενώ τα αποτελέσματα επιλέχθηκε να στέλνονται στον υπολογιστή μέσω της σειριακής με συγκεκριμένο τρόπο ώστε στη συνέχεια να μπορούν να διαβάζονται από μια έτοιμη εφαρμογή για Windows που δίνει η εταιρία PARALLAX (PLX-DAQ) [38]. Κάθε μέτρηση που έγινε με τον μικροελεγκτή έγινε και με τα πολύμετρα και τον παλμογράφο του εργαστηρίου στην αρχή, με σκοπό να ελεγχθεί η ακρίβειά της. Το σφάλμα στην ακρίβεια της μέτρησης είναι 0.1 Volt. Τα στοιχεία της πλακέτας που κατασκευάστηκε για το μετρητικό σύστημα βρίσκονται στο παράρτημα I.1.1.

2.1.2 Το κύκλωμα τροφοδοσίας των φορτιστών.

Το κύκλωμα τροφοδοσίας των φορτιστών περιλαμβάνει το κύκλωμα σταθεροποίησης της τάσης εισόδου και τους μετατροπείς DC-DC των οποίων ο τρόπος συνδεσμολογίας παρουσιάστηκε στο γενικό διάγραμμα της εικόνας 2.1 ενώ για αυτούς γίνεται εκτενέστερη αναφορά παρακάτω. Ο ρόλος μετατροπέων DC-DC στο παρόν σύστημα είναι να απομονώσουν τα 5,5 Volt που παίρνουν από τον σταθεροποιητή και να τροφοδοτήσουν με αυτά τους φορτιστές. Το κύκλωμα σταθεροποίησης της τάσης εισόδου βασίζεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα διακοπτικής σταθεροποίησης PTN78020 της εταιρίας Texas Instrument [39]. Το μεγάλο εύρος της τάσης εισόδου κάνει τον εν λόγω σταθεροποιητή κατάλληλο για εφαρμογές που χρησιμοποιούν συνεχείς τάσεις τροφοδοσίας 12,24 και 48 Volt. Λειτουργώντας σε ένα μεγάλο φάσμα τάσεων (7 έως 36 Volt) στην είσοδό του και αντέχοντας φορτίο μέχρι και 6A τον καθιστά κατάλληλο για την παρούσα κατασκευή αφού η μέγιστη τάση στα άκρα των φωτοβολταϊκών είναι 17.5 Volt. Στην παρούσα

διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το PTN78020W που μπορεί να δώσει στην έξοδό του τάσεις από 2.5 Volt έως 12.6 Volt. Στην εικόνα 2.4 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος τροφοδοσίας των φορτιστών.

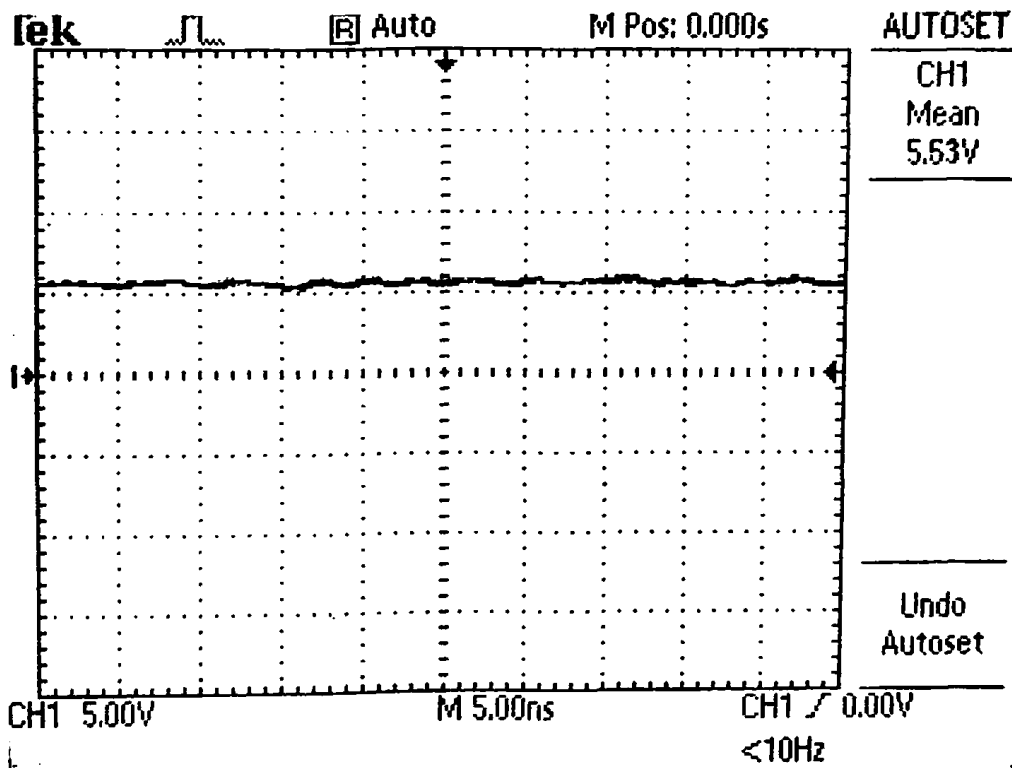


Εικόνα 2.4. Το κύκλωμα τροφοδοσίας των φορτιστών.

Οι ακροδέκτες 1 και 7 στην εικόνα 2.4 χρησιμοποιούνται για την γείωση της πλακέτας ή αλλιώς το αρνητικό της τάσης τροφοδοσίας. Ο ακροδέκτης 2 συνδέεται στον θετικό πόλο της τάσης τροφοδοσίας ενώ στην είσοδο του κυκλώματος έχει επιλεχθεί να παρεμβάλλεται ένας κεραμικός πυκνωτής 2,2 μF όπως αυτός που φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα. Ο πυκνωτής έχει επιλεχθεί ώστε να έχει θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά τύπου X5R ή X7R [40]. Στην είσοδο μπορεί να προστεθεί και ηλεκτρολυτικός πυκνωτής αλλά με την προϋπόθεση ότι έχει είδη συνδεθεί κεραμικός πυκνωτής. Αυτό γιατί χωρίς τον κεραμικό πυκνωτή στην ενεργό τιμή του ρεύματος εισόδου υπάρχει κυμάτωση τουλάχιστον 500 mA rms για τιμές της τάσης εισόδου μικρότερες ή ίσες από 5,5 Volt και 750 mA rms για τάσεις εισόδου μεγαλύτερες από 5,5 Volt. Οι πυκνωτές τανταλίου δεν συνιστανται. Στην έξοδο του σταθεροποιητή έχει συνδεθεί ηλεκτρολυτικός πυκνωτής αλουμινίου χωρητικότητας 330 μF καθώς συνιστάται για θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C. Ο ακροδέκτης 5 (Sense), του σταθεροποιητή, χρησιμοποιείται με σκοπό την αντιστάθμιση της πτώσης τάσης στην έξοδο από το φορτίο και για τον λόγο αυτό βραχυκυκλώνεται με τον ακροδέκτη 6 της τάσης εξόδου. Ο ακροδέκτης 3 που είναι τύπου ανοικτής πύλης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κατάστασης λειτουργίας του κυκλώματος. Αν ο ακροδέκτης αυτός συνδεθεί με την γείωση του κυκλώματος τότε διακόπτεται η λειτουργία του και η τάση στην έξοδο είναι μηδέν. Για να λειτουργεί κανονικά το κύκλωμα θα πρέπει ο ακροδέκτης αυτός να μην συνδέεται πουθενά. Τέλος ο ακροδέκτης 4 είναι ένας πολύ σημαντικός ακροδέκτης διότι ανάλογα με την τιμή της αντίστασης που συνδέεται μεταξύ αυτού του ακροδέκτη και της γείωσης καθορίζεται η τάση στην έξοδο του σταθεροποιητή. Για την συγκεκριμένη κατασκευή επιλέχθηκε η τάση εξόδου του σταθεροποιητή να είναι τα 5,5 Volt και επομένως σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή τοποθετήθηκε στην μεταξύ των ακροδεκτών 4 και 7 συνολική αντίσταση 16.4 k Ω . Η επιλογή της αντίστασης αυτής έγινε με δεδομένο ότι η μέγιστη τάση τροφοδοσίας των κυκλωμάτων που κάνουν φόρτιση με εξισορρόπηση στους υπερπυκνωτές είναι 5,5 Volt.

Η τάση εξόδου του σταθεροποιητή φαίνεται στην εικόνα 2.5. Σε συχνότητα 200 MHz που είναι και η μέγιστη συχνότητα του παλμογράφου δεν παρουσιάζονται διακυμάνσεις της τάσης.





Εικόνα 2.5. Τάση εξόδου του σταθεροποιητή PTN78020W σε παλμογράφο.

Όπως ειπώθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου υπήρξε η ανάγκη μετά το κύκλωμα σταθεροποίησης της τάσης εισόδου και πριν τα κυκλώματα που κάνουν την φόρτιση-εξισορρόπηση της τάσης στους υπερπυκνωτές να παρεμβληθεί ένα κύκλωμα που θα μετατρέπει την τάση εισόδου από τα 5,5 Volt στα 5,5 Volt με την επίτευξη απομόνωσης. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται η απομόνωση είναι ότι αν συνδέονταν τα κυκλώματα τροφοδοσίας σε μια πλακέτα θα βραχυκυκλώνονταν τα άκρα των πυκνωτών. Το κύκλωμα που επιλέχθηκε για την απομόνωση βασίζεται στον DC-DC μετατροπέας απομόνωσης DCP020505P της εταιρίας Texas Instruments. Το DCP020505 μπορεί να τροφοδοτήσει φορτίο μέχρι 2Watt και αν συνδεθούν δύο τέτοιοι μετατροπείς παράλληλα το φορτίο διπλασιάζεται. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν τρεις τέτοιοι μετατροπείς (U2, U3, U4, στην εικόνα 2.4). Για να λειτουργήσει σωστά ο μετατροπέας χρειάζεται ένα σύνολο εξωτερικά συνδεδεμένων στοιχείων σε συνδυασμό με τα εσωτερικά του στοιχεία.

Στους ακροδέκτες 1 και 2 των μετατροπέων DC-DC συνδέεται η τάσης εισόδου η οποία προέρχεται από τον σταθεροποιητή PTN78020. Στους ακροδέκτες 5 και 6 βγαίνει η απομονωμένη τάση εξόδου. Ο ακροδέκτης 14 χρησιμοποιεί μια CMOS πύλη ανοικτής υποδοχής (open-drain). Εάν βραχυκυκλωθεί με τον ακροδέκτη 2 της εισόδου τότε ο μετατροπέας τίθεται εκτός λειτουργίας.

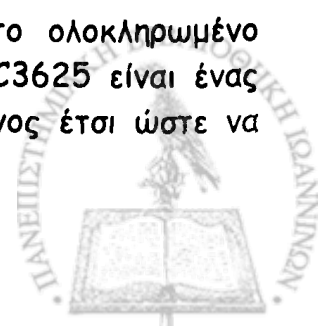
Ο πυκνωτής στην είσοδο του μετατροπέα επιλέχθηκε σύμφωνα με τον κατασκευαστή να είναι κεραμικός και η χωρητικότητά του να είναι 2.2μF (C3, C5, C9), ενώ ο πυκνωτής στην έξοδο του είναι 1μF (C6, C7, C8). Κατά τη σύνδεση πολλών τέτοιων μετατροπέων σε σειρά πρέπει να βραχυκυκλώνονται οι ακροδέκτες 14. Στην κατασκευή της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε από ένας μετατροπέας για την τροφοδοσία που κάνει φόρτιση-εξισορρόπηση στους πυκνωτές, οπότε δεν χρειάστηκε να βραχυκυκλωθούν αυτοί οι ακροδέκτες. Τα στοιχεία της πλακέτας που κατασκευάστηκε για την τροφοδοσία των φορτιστών βρίσκονται στο παράρτημα I.1.2.

2.1.3 Το κύκλωμα φόρτισης-εξισορρόπησης των υπερπυκνωτών.

Για την ανάπτυξη του κυκλώματος φόρτισης-εξισορρόπησης των υπερπυκνωτών σε συνδυασμό με την χρήση μετατροπέα DC-DC μελετήθηκαν δύο τύποι φορτιστών και οι δύο της εταιρίας Linear Technologies. Στο κεφάλαιο 1 αναφέρθηκε ότι η εξισορρόπηση στη φόρτιση αφορά στην διακοπή της φόρτισης όταν η τάση τροφοδοσίας στα άκρα του κάθε πυκνωτή πλησιάσει την τάση 2.7 Volt. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει εξισορρόπηση κατά την φόρτιση, η ενεργητική εξισορρόπηση και η παθητική εξισορρόπηση. Η παθητική εξισορρόπηση εφαρμόζεται για να περιοριστούν οι διακυμάνσεις στο ρεύμα διαρροής. Παθητική εξισορρόπηση πετυχαίνεται με την σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα σε κάθε πυκνωτή. Τα θετικά αυτών των διατάξεων σε σύγκριση με τις διατάξεις ενεργητικής εξισορρόπησης είναι η απλότητα και το χαμηλό της κόστος. Το μειονέκτημα αυτής της κατασκευής είναι η μικρή απόδοση κατά τη φόρτιση που οφείλεται στην κατανάλωση σημαντικής ενέργειας στα γραμμικά στοιχεία του κυκλώματος (αντιστάσεις, πυκνωτές κ.τ.λ.). Παθητική εξισορρόπηση χρησιμοποιείται κυρίως σε κατασκευές με λίγους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης όπως είναι τα συστήματα UPS (Uninterruptible Power Supply).

Τα συστήματα ενεργητικής εξισορρόπησης κατά τη φόρτιση χρησιμοποιώντας μη γραμμικά στοιχεία (τρανζίστορ, mosfet κ.τ.λ.) οδηγούν τους πυκνωτές να έχουν ίση τάση στα άκρα τους και αυτό γίνεται εφικτό συγκρίνοντας την τάση στα άκρα του καθενός. Τα κυκλώματα ενεργητικής εξισορρόπησης προτιμώνται σε συστήματα με πολλούς κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης [41].

Το αρχικό κύκλωμα που μελετήθηκε βασίζεται στο ολοκληρωμένο LTC3625 της εταιρίας Linear Technologies [42]. Το LTC3625 είναι ένας προγραμματιζόμενος φορτιστής υπερπυκνωτών σχεδιασμένος έτσι ώστε να

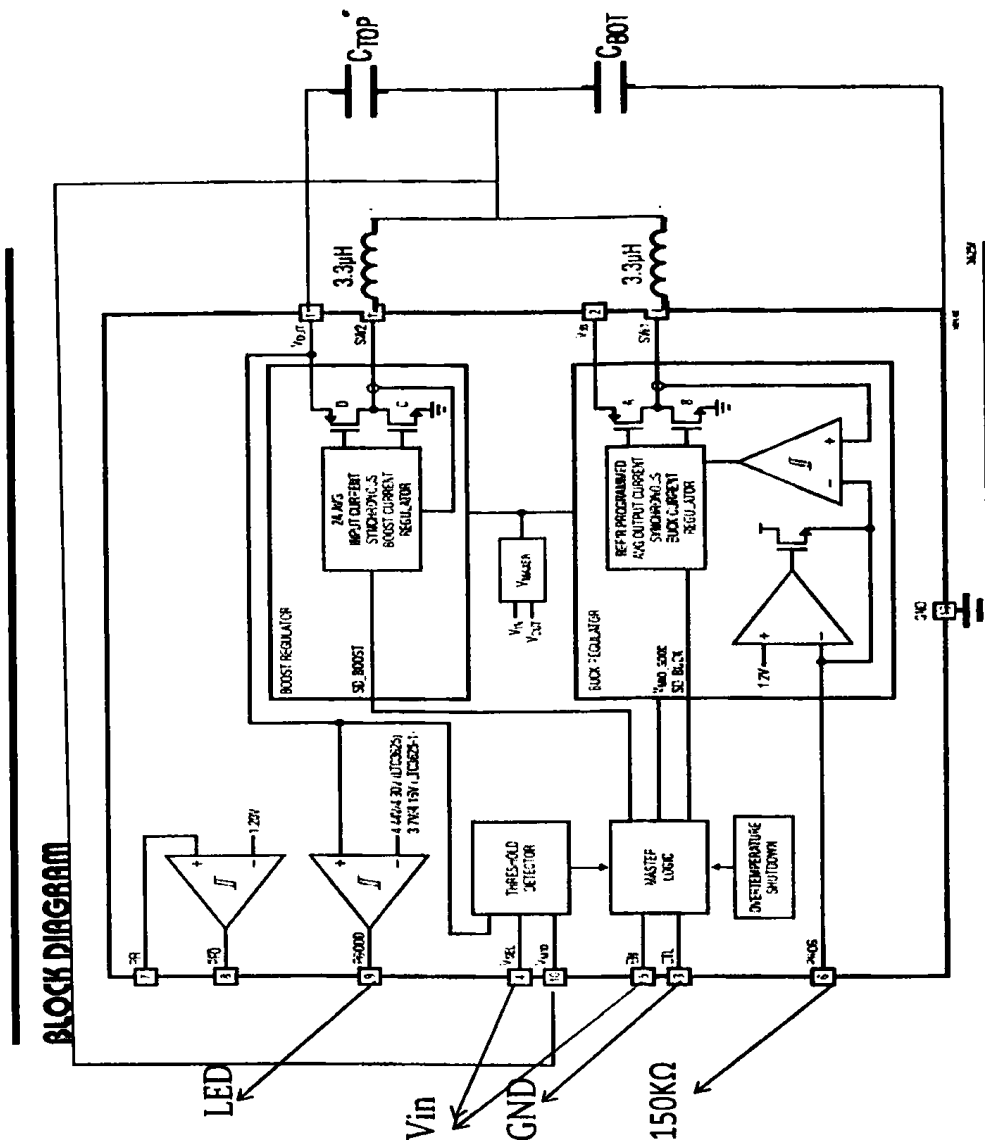


μπορεί να φορτίσει δυο υπερπυκνωτές σε σειρά με συνολική τάση εξόδου 5.3 Volt. Έχει ενσωματωμένο κύκλωμα εξισορρόπησης της τάσης που εμποδίζει τις καταστάσεις υπέρτασης στα άκρα των υπερπυκνωτών. Το ολοκληρωμένο αυτό μπορεί να φορτίσει τους πυκνωτές με τάσεις από 2.7 έως 5.5 Volt το οποίο και καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Το ρεύμα φόρτισης που επιτρέπεται στη φόρτιση με το LTC3625 είναι 1 A. Στο LTC3625 περιλαμβάνονται δυο σταθεροποιητές ρεύματος, ένας στην είσοδο που κάνει σταθεροποίηση και υποβιβασμό του ρεύματος και έναν στην έξοδο που κάνει πάλι σταθεροποίηση με ανύψωση του ρεύματος. Το ρεύμα φόρτισης είναι προγραμματιζόμενο μέσω μιας εξωτερικής αντίστασης που συνδέεται στο κύκλωμα και δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\text{ΦΟΡΤΙΣΗΣ}} \cong 0.5 * I_{\text{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}} - 1A * \left(1 - 2 * \varepsilon_{\text{ΑΝΥΨΩΣΗΣ}} * \frac{V_{\text{ΜΕΣΗ}}}{V_{\text{ΕΞΟΔΟΥ}}} \right)$$

$$I_{\text{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}} = h_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}} * \frac{1.2V}{R_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}}}$$

όπου $h_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}} = 118000$ είναι ο λόγος του μετρούμενου ρεύματος $I_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}}$ προς το προγραμματιζόμενο $I_{\text{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}}$ ενώ το $\varepsilon_{\text{ΑΝΥΨΩΣΗΣ}}$ είναι η απόδοση του μετατροπέα ανύψωσης και ισούται περίπου με 85%. $I_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}}$ είναι το ρεύμα στον ακροδέκτη "PROG", $I_{\text{ΑΝΥΨΩΣΗΣ}}$ είναι το ρεύμα εξόδου του μετατροπέα, $I_{\text{ΦΟΡΤΙΣΗΣ}}$ το ρεύμα φόρτισης, $V_{\text{ΜΕΣΗ}}$ η τάση στα άκρα του C_{BOT} , $V_{\text{ΕΞΟΔΟΥ}}$ η τάση στα άκρα της στοίβας και $R_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}}$ η αντίσταση προγραμματισμού του ρεύματος φόρτισης. Στην εικόνα 2.6 φαίνεται το γενικό διάγραμμα του LTC3625.



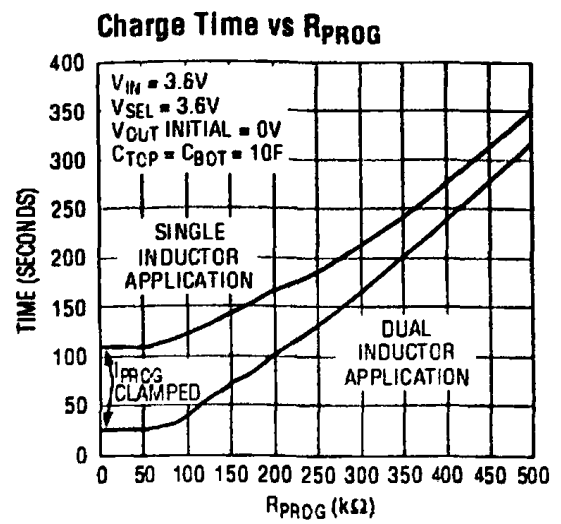
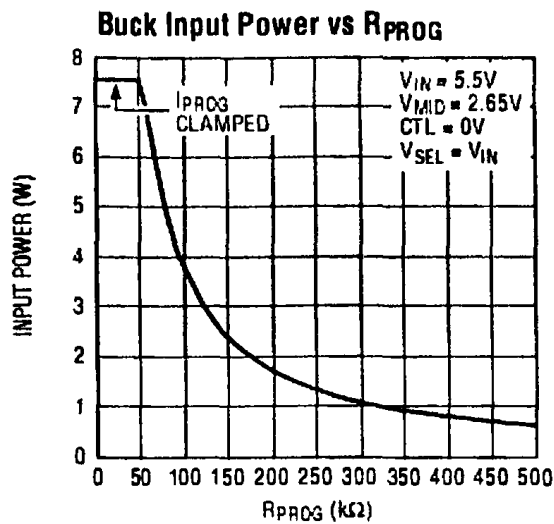
Εικόνα 2.6. Γενικό διάγραμμα του εσωτερικού του LTC3625.

Σε δύο εισόδους του LTC3625 συνδέονται ένα ή δύο πηνία. Στην λειτουργία με δύο πηνία μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα και οι δύο μετατροπείς και επομένως το κύκλωμα μπορεί να φορτίσει τους πυκνωτές πιο γρήγορα από ότι σε σχέση με το κύκλωμα με ένα πηνίο.

Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης, στη λειτουργία με δύο πηνία, ο μετατροπέας υποβιβασμού σταθεροποιεί το ρεύμα εξόδου του σε μια τιμή $1.1 \cdot I_{\text{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}}$ και $0.9 \cdot I_{\text{ΑΝΥΨΩΣΗΣ}}$ μέχρι η $V_{\text{ΜΕΣΗ}}$ να φτάσει τα 1.35 Volt. Ακολούθως ο σταθεροποιητής ανύψωσης σταθεροποιεί το ρεύμα εισόδου του σε μια τιμή μεταξύ 2.12 A και 1.88 A ενώ ταυτόχρονα ο σταθεροποιητής υποβιβασμού συνεχίζει να λειτουργεί με $I_{\text{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}} \sim < 1 \text{ A}$. Αν και ο μετατροπέας υποβιβασμού συνεχίζει να λειτουργεί υπάρχει περίπτωση ένα μέρος του φορτίου του $C_{\text{ΒΟΤ}}$ να μεταφερθεί στον $C_{\text{ΤΟΡ}}$ και επομένως να μειωθεί η $V_{\text{ΜΕΣΗ}}$. Αν συμβεί αυτό ο μετατροπέας υποβιβασμού θα διακόψει την λειτουργία του και μόλις η τάση $V_{\text{ΜΕΣΗ}}$ φτάσει πάλι τα 1.35 Volt θα

ξεκινήσει πάλι να λειτουργεί. Αν κατά τη διάρκεια της φόρτισης ο C_{BOT} υπερβεί την μέγιστη τάση των 2.7 Volt ή αν η τάση στα άκρα του πυκνωτή C_{TOP} υπερβεί κατά 50 mVolt την τάση του πυκνωτή C_{BOT} τότε ο κατάλληλος μετατροπέας θα σταματήσει να λειτουργεί μέχρι η τάση στα άκρα του πυκνωτή να φτάσει την κατάλληλη τιμή που έχει προγραμματιστεί από τον ακροδέκτη "V_{SEL}". Ο ακροδέκτης αυτός είχε βραχυκυκλωθεί με την τάση εισόδου. Στην περίπτωση αυτή η τάση στα άκρα κάθε πυκνωτή θα είναι 2.7 Volt. Αν ο ακροδέκτης αυτός βραχυκυκλωνόταν με την γείωση του ολοκληρωμένου η τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή θα προγραμματιζόταν να είναι 2.5 Volt. Στον ακροδέκτη "PGOOD" έχει συνδεθεί μια λυχνία LED η οποία προειδοποιεί ότι η φόρτιση έχει ολοκληρωθεί. Η λυχνία παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια της φόρτισης αναμμένη και σβήνει μόνο όταν η τάση στα άκρα και των δύο πυκνωτών ξεπεράσει το 89.5% της προγραμματιζόμενης τάσης εξόδου. Ο ακροδέκτης "EN" χρησιμεύει για να θέσει σε λειτουργία το κύκλωμα φόρτισης όταν βραχυκυκλώνεται με την τάση εισόδου ή να σταματάει αντίστοιχα την λειτουργία του κυκλώματος όταν βραχυκυκλώνεται με την γείωση του ολοκληρωμένου. Μεταξύ του "PROG" και της γείωσης του ολοκληρωμένου συνδέεται η αντίσταση προγραμματισμού. Η έξοδος "CTL" είναι αυτή που καθορίζει αν το ολοκληρωμένο θα κάνει φόρτιση με τη χρήση απλής ή διπλής αυτεπαγωγής. Εδώ έχει συνδεθεί στη γείωση του ολοκληρωμένου προγραμματίζοντάς το για φόρτιση με διπλή αυτεπαγωγή. Τέλος υπάρχουν οι ακροδέκτες "PFI" και "PFO" που προσφέρουν στο χρήστη τη δυνατότητα προειδοποίησης αποτυχίας της τάσης. Ο ακροδέκτης "PFI" χρησιμοποιεί έναν διαιρέτη τάσης που ανάλογα με τις αντιστάσεις που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζει το όριο της τάσης αποτυχίας και ανάλογα δίνει στην έξοδο "PFO" μηδέν ή ένα.

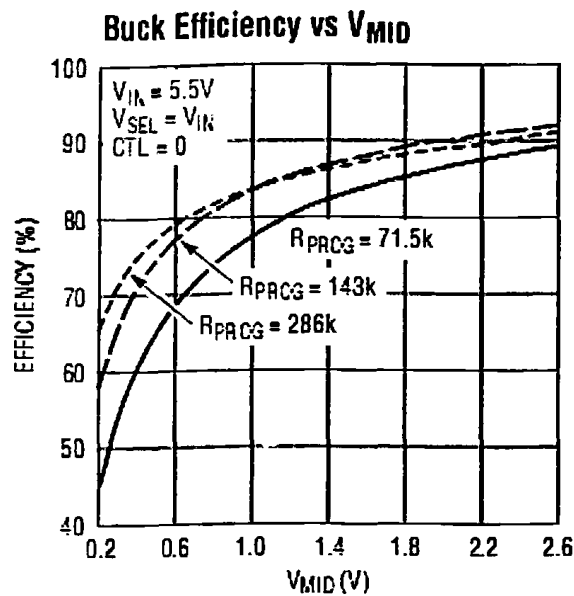
Μόλις η τάση στα άκρα και των δύο πυκνωτών πάρει την μέγιστη προγραμματιζόμενη τιμή ο φορτιστής σταματάει να λειτουργεί. Η αντίσταση προγραμματισμού έχει επιλεγεί να είναι 150 kΩ. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε ως η καλύτερη από την άποψη ταχύτητας φόρτισης και καλής λειτουργίας (δηλαδή να μην τραβάει πολύ ρεύμα στη είσοδο) σε συνάρτηση με γραφικά δεδομένα του κατασκευαστή που παρουσιάζονται στις δύο επόμενες γραφικές.



Εικόνα 2.7. Ισχύς εισόδου (αριστερά) σε συνάρτηση με την αντίσταση προγραμματισμού
Χρόνος φόρτισης (δεξιά) σε συνάρτηση με την αντίσταση προγραμματισμού.

Το ρεύμα που καταναλώνει ο φορτιστής δίνεται από τη σχέση $I_{ΕΙΣΟΔΟΥ} = \frac{I_{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}}{ε_{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ}} * \frac{V_{ΜΒΣΗ}}{V_{ΕΙΣΟΔΟΥ}}$. Το ρεύμα εξόδου του μετατροπέα υποβιβασμού είναι $I_{ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ} = 0.944$ και υπολογίστηκε για $R_{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ} = 150 \text{ k}\Omega$ ενώ η τάση εισόδου είναι σταθερή 5 Volt. Από την γραφική παράσταση που δίνει ο κατασκευαστής για την απόδοση του μετατροπέα υποβιβασμού σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του C_{BOOT} ελήφθησαν κάποιες τιμές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και στη συνέχεια για κάθε απόδοση υπολογίστηκε το ρεύμα που καταναλώνει ο φορτιστής. Τα αποτελέσματά παρουσιάζονται στη γραφική παράσταση της εικόνας 2.9 στην οποία φαίνεται η αναμενόμενη τιμή του ρεύματος εισόδου $I_{ΕΙΣΟΔΟΥ}$ (I_{in} , στην εικόνα 2.9) του φορτιστή.

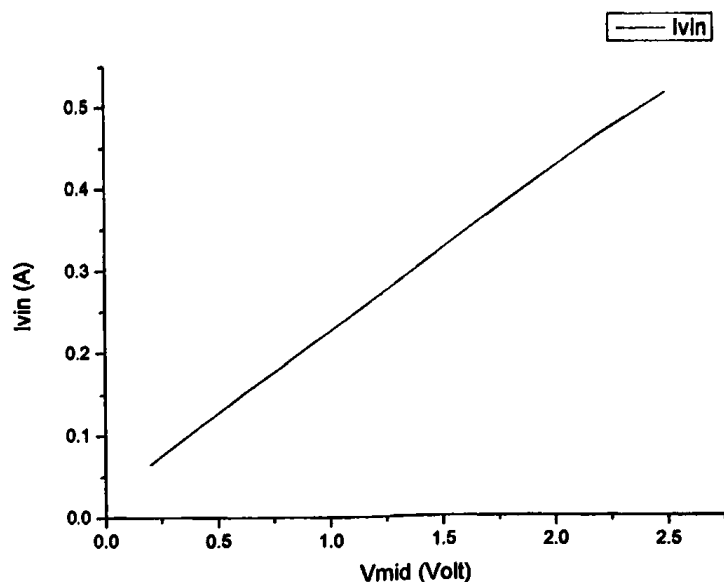




Εικόνα 2.8. Γραφική παράσταση της απόδοσης του μετατροπέα υποβιβασμού σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του πυκνωτή C_{BOT}

$V_{ΜΕΣΗ}$	$ΕΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ$	$V_{ΜΕΣΗ} / ΕΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ$	$I_{ΕΙΣΟΔΟΥ}$
Volt	%		A
0.2	58	0.34483	0.0651
0.26	63	0.4127	0.07792
0.3	66	0.45455	0.08582
0.37	70	0.52857	0.09979
0.43	72	0.59722	0.11276
0.48	74	0.64865	0.12246
0.62	77	0.80519	0.15202
0.78	81	0.96296	0.18181
0.95	83	1.14458	0.2161
1.12	85	1.31765	0.24877
1.4	87	1.6092	0.30382
1.66	88	1.88636	0.35615
2.2	90	2.44444	0.46151
2.5	92	2.71739	0.51304

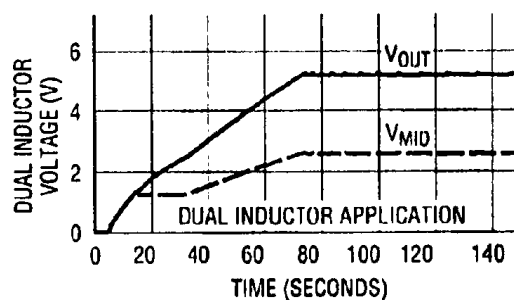
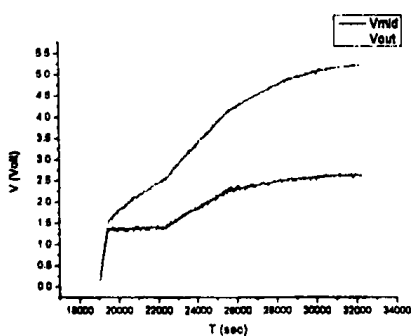
Πίνακας 2.2. Οι τιμές που προκύπτουν για το ρεύμα εισόδου σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του πυκνωτή C_{BOT}



Εικόνα 2.9. Γραφική παράσταση του ρεύματος εισόδου σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του πυκνωτή C_{BOT} .

Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το ρεύμα εισόδου αναμένεται να αυξάνεται σταθερά κατά τη διάρκεια της φόρτισης.

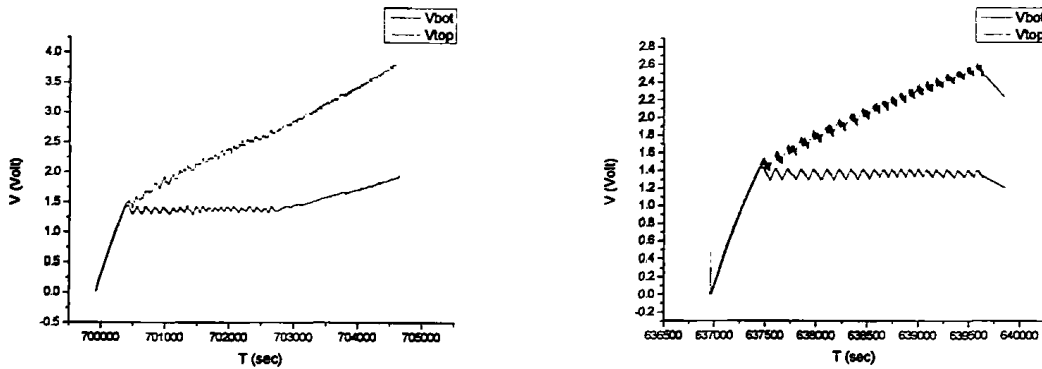
Για να διαπιστωθεί αν το κύκλωμα κάνει τη φόρτιση όπως περιγράφει το τεχνικό του φυλλάδιο έγινε έλεγχος της φόρτισης με το σύστημα ελέγχου που περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.1.



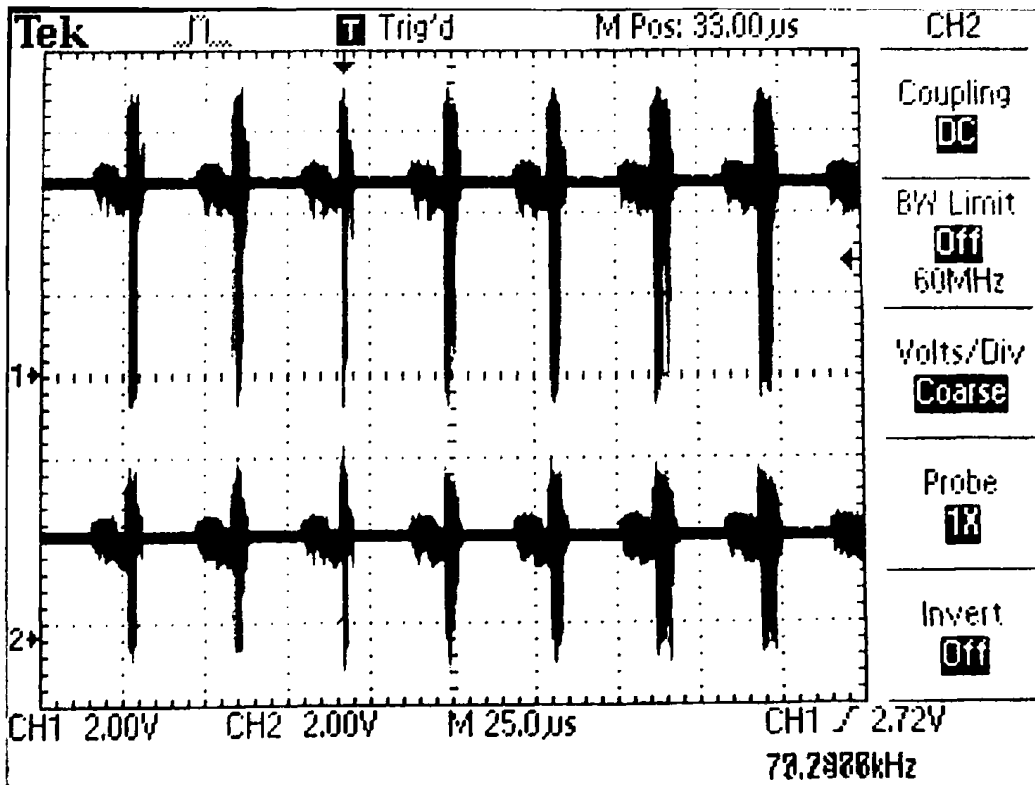
Εικόνα 2.10. Ποιοτική σύγκριση πειραματικών(αριστερά)-αναμενόμενων τιμών (δεξιά) της τάσης στα άκρα των πυκνωτών.

Στην εικόνα 2.10 φαίνεται ότι σε κάποιες μετρήσεις που έγιναν στα άκρα δύο πυκνωτών 350 F οι γραφικές παραστάσεις των πειραματικών και των θεωρητικών μετρήσεων ταιριάζουν. Η διαφορά των δύο γραφικών παραστάσεων είναι κυρίως στο χρόνο φόρτισης αλλά αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χωρητικότητα των πυκνωτών στη δεξιά γραφική παράσταση είναι 10 F. Παρ' όλ' αυτά όταν το κύκλωμα φόρτισης επανασχεδιάστηκε για να ταιριάζει μηχανολογικά με την στοίβα των υπερπυκνωτών έγιναν πάλι μετρήσεις φόρτισης-εκφόρτισης του συστήματος στις οποίες παρουσιάστηκαν

μη αναμενόμενες τιμές. Παράδειγμα αυτών των μετρήσεων φαίνονται στις εικόνες 2.11 και 2.12.



Εικόνα 2.11. Φόρτιση των δύο πυκνωτών με μη αναμενόμενη συμπεριφορά.

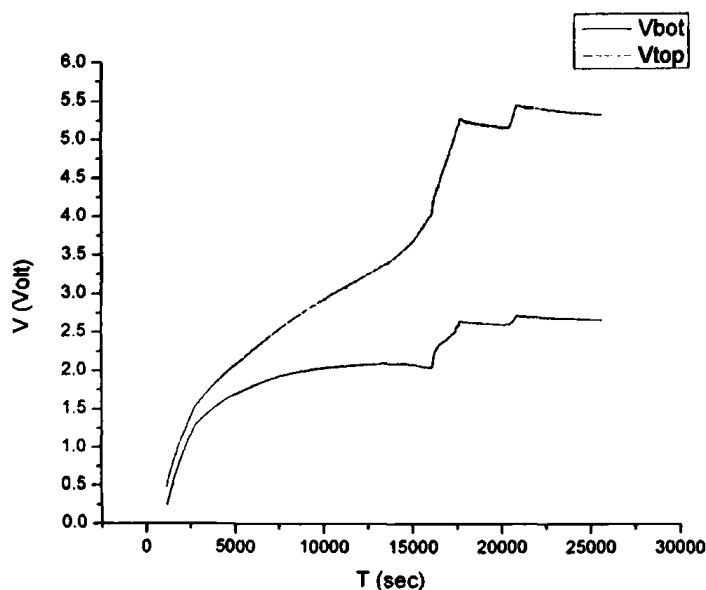


Εικόνα 2.12. Μετρήσεις στα άκρα των πυκνωτών με παλμογράφο.

Στις γραφικές παραστάσεις της εικόνας 2.11 φαίνεται ότι ο φορτιστής διακόπτει την φόρτιση των υπερπυκνωτών για κάποια χρονικά διαστήματα. Για να διαπιστωθεί πώς ακριβώς γίνεται αυτό χρησιμοποιήθηκε ο παλμογράφος και το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 2.12. Το κανάλι 1 του παλμογράφου συνδέθηκε μεταξύ της γείωσης των δύο υπερπυκνωτών και του θετικού πόλου της στοίβας και το κανάλι 2 μεταξύ της γείωσης και του



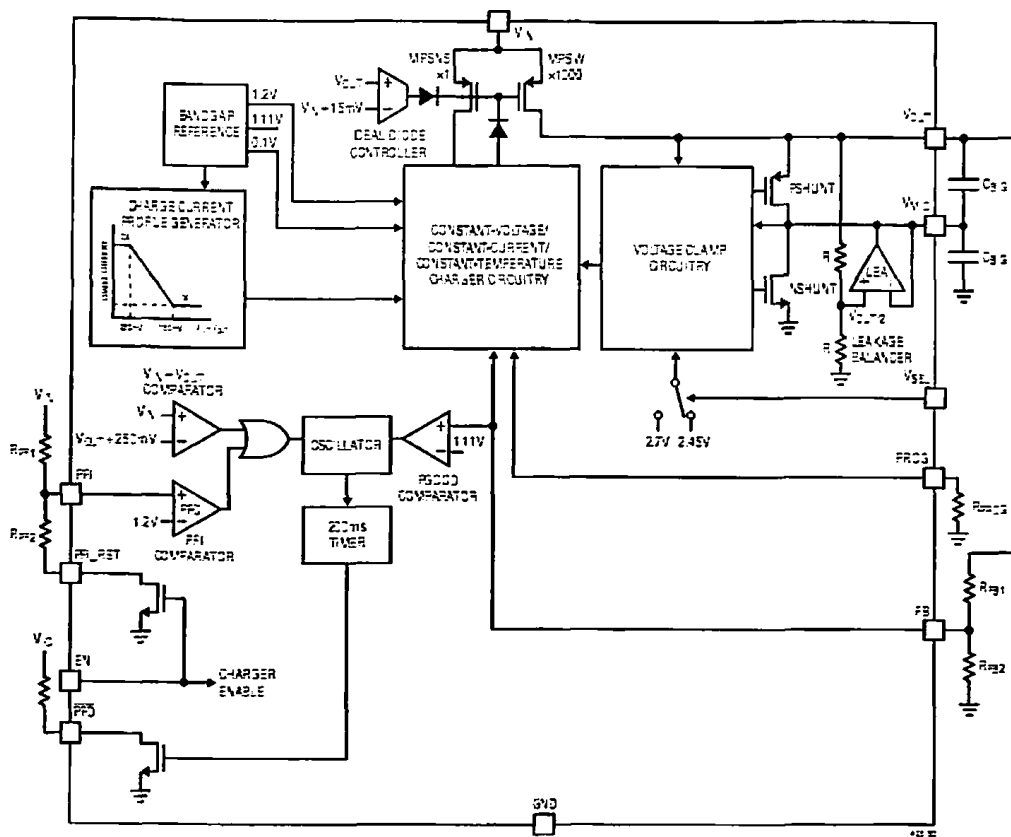
κοινού σημείου των δύο σε σειρά πυκνωτών. Στο φυλλάδιο τεχνικών προδιαγραφών δεν παρουσιάζονται γραφικά δεδομένα όπως αυτά του παλμογράφου και έτσι επιχειρήθηκε η κατασκευή του κυκλώματος με διαφορετικό τρόπο, χρησιμοποιώντας φίλτρο πυκνωτών στην έξοδο όπως χρησιμοποιεί και η εταιρία σε μια δοκιμαστική πλακέτα που παρουσιάζει στον διαδικτυακό της τόπο, βάζοντας τα παθητικά στοιχεία του κυκλώματος σε διαφορετική θέση σύμφωνα με τις υποδείξεις του τεχνικού του φυλλαδίου. Παρά τις αλλαγές που έγιναν δεν κατέστη εφικτή η φόρτιση των πυκνωτών με τον τρόπο που αναφέρεται στο τεχνικό φυλλάδιο όπως φαίνεται και στην γραφική παράσταση της εικόνας 2.13. Εκτιμάται ότι οι γραφικές παραστάσεις προκύπτουν στις εικόνες 2.11 και 2.12 και 2.13 σε σχέση με αυτές της εικόνας 2.10 οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες των συγκεκριμένων πλακετών που οφείλονται και στο περίβλημα του LTC3625 που είναι τύπου DFN και οι ακροδέκτες του δεν προεξέχουν από το πλαστικό περίβλημα.



Εικόνα 2.13. Φόρτιση των δύο πυκνωτών με μη αναμενόμενη συμπεριφορά μετά από ανακατασκευή του κυκλώματος φόρτισης.

Το δεύτερο κύκλωμα φόρτισης που μελετήθηκε και αναπτύχθηκε βασίζεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα LTC4425 της ίδιας εταιρίας [43]. Το ολοκληρωμένο αυτό είναι ένας γραμμικός φορτιστής σταθερού ρεύματος/σταθερής τάσης, σχεδιασμένος για τη φόρτιση δύο υπερπυκνωτών συνδεδεμένων σε σειρά με τάσεις εισόδου από 2.7 έως 5.5 Volt. Η βασικότερη διαφορά του LTC4425 σε σχέση με το LTC3625 είναι ότι η τάση εξόδου δεν μπορεί να είναι ποτέ μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Το νέο κύκλωμα δεν παρουσίασε προβλήματα στη φόρτιση των υπερπυκνωτών και

για τον λόγο αυτό κρίθηκε κατάλληλο για την χρήση του στη κατασκευή του συγκεκριμένου συστήματος. Στην εικόνα 2.14 παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα του LTC4425.

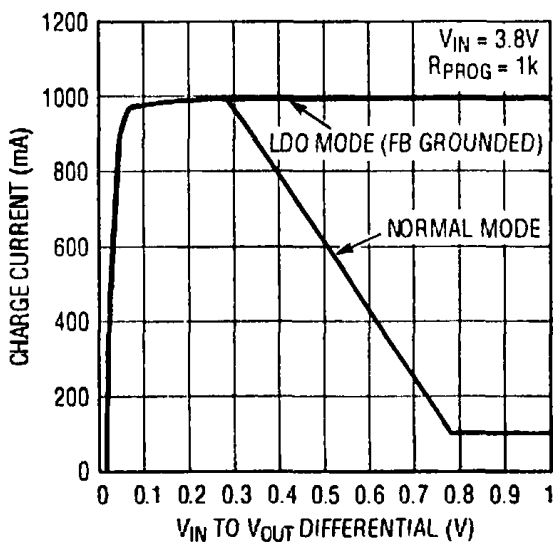


Εικόνα 2.14. Μπλοκ διάγραμμα του ολοκληρωμένου LTC4425

Το LTC4425 έχει δύο τρόπους λειτουργίας, τη "Normal Mode" και την "LDO Mode". Στην "LDO Mode" η συνολική τάση εξόδου των δύο πυκνωτών προγραμματίζεται μέσω ενός εξωτερικού διαιρέτη τάσης που τοποθετείται στον ακροδέκτη "FB". Το κύκλωμα ελέγχου της φόρτισης σε αυτήν την περίπτωση αποτελείται από έναν ενισχυτή σταθερού ρεύματος και έναν ενισχυτή σταθερής τάσης. Όταν το κύκλωμα ξεκινά να φορτίσει τους δύο αφόρτιστους πυκνωτές η τάση στα άκρα της αντίστασης που συνδέεται στον ακροδέκτη "PROG" είναι 1Volt ενώ το ρεύμα καθώς περνά διαμέσου της αντίστασης πολλαπλασιάζεται περίπου επί 1000. Δηλαδή η σχέση που δίνει το ρεύμα φόρτισης σε συνάρτηση με την αντίσταση που συνδέεται στον ακροδέκτη "PROG" δίνεται από τη σχέση $I_{\text{ΦΟΡΤΙΣΗΣ}} = \frac{1000}{R_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}} \quad (1)$ έτσι μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το ρεύμα φόρτισης και επομένως την ισχύ που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Καθώς η τάση στα άκρα της στοίβας πλησιάζει στην προγραμματιζόμενη τιμή της το ρεύμα μειώνεται ώστε η τάση στα άκρα του ακροδέκτη "FB" να γίνει ίση με την τάση αναφοράς 1.2 Volt. Στην κατάσταση φόρτισης "Normal Mode" το ρεύμα φόρτισης εξαρτάται από την διαφορά μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης



εξόδου. Όσο η διαφορά μεταξύ των δύο τάσεων είναι μεγαλύτερη από 750 mV το ρεύμα φόρτισης είναι 0.2 A. Όταν η διαφορά των δυο τάσεων γίνει μικρότερη από τα 750 mV και ως τα 250 mV το ρεύμα φόρτισης αυξάνεται γραμμικά μέχρι την τιμή που υπολογίστηκε από την τελευταία σχέση (1). Στην παρούσα κατασκευή επιλέχθηκε η φόρτιση να γίνει σε "Normal Mode" ώστε να μην καταναλώνει το κύκλωμα πολύ ρεύμα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον κατασκευαστή το μέγιστο ρεύμα φόρτισης είναι 3 A ενώ το ρεύμα διαρροής είναι 1 μ A. Στην εικόνα 2.15 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ρευμάτων φόρτισης στις δύο καταστάσεις φόρτισης σε συνάρτηση με την διαφορά μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου.

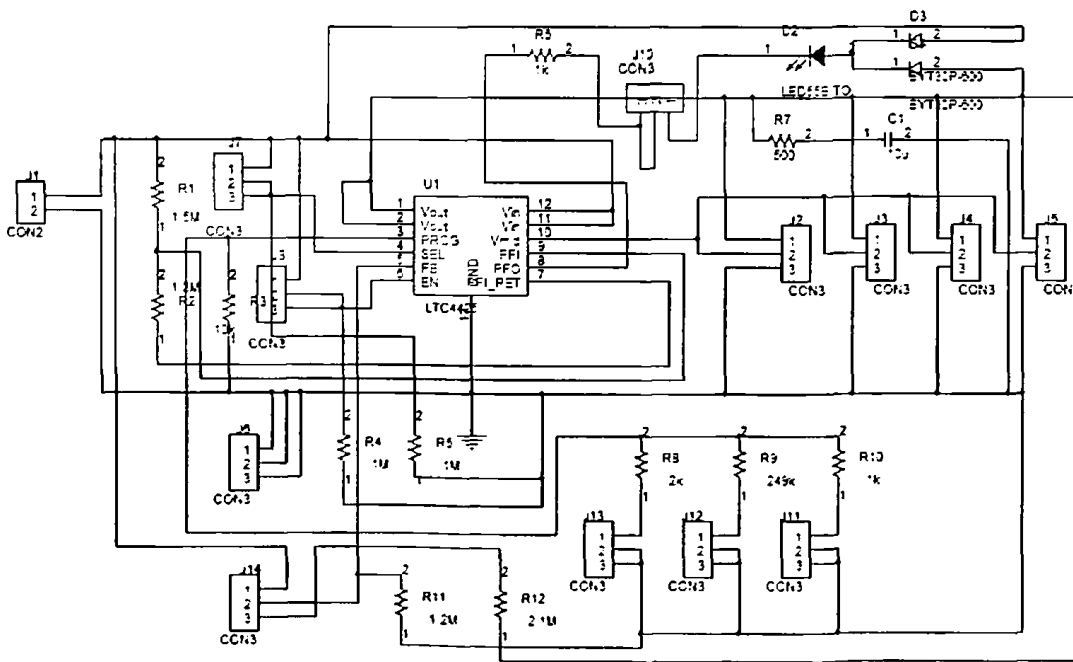


Εικόνα 2.15. Γραφική παράσταση του ρεύματος φόρτισης σε συνάρτηση με την διαφορά μεταξύ των τάσεων εισόδου-εξόδου για τους δύο τύπους φόρτισης.

Το ολοκληρωμένο LTC4425 έχει δώδεκα ακροδέκτες για μερικούς από τους οποίους έχει γίνει είδη λόγος. Έτσι δυο από τους ακροδέκτες χρησιμοποιούνται για την τάση εισόδου και δύο για την τάση εξόδου. Ένας ακροδέκτης είναι η γείωση του ολοκληρωμένου μεταξύ της οποίας και του ακροδέκτη "PROG" συνδέεται η αντίσταση προγραμματισμού. Εδώ η αντίσταση προγραμματισμού επιλέχθηκε να είναι 2.5 k Ω . Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη αντίσταση είναι ότι το ρεύμα φόρτισης με αυτήν υπολογίστηκε από την σχέση $I_{\text{ΦΟΡΤΙΣΗΣ}} = 1000 * \left(\frac{1V}{R_{\text{ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ}}} \right) = 0,4 A$ και αυτό το ρεύμα είναι το μέγιστο που μπορεί να δώσει ένας DC-DC μετατροπέας τάσης από αυτούς που προηγούνται του συγκεκριμένου κυκλώματος. Αν όμως όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο του μετατροπέα DC-DC συνδεθεί και δεύτερος ίδιος παράλληλα με αυτόν και επομένως διπλασιαστεί η συνολική ισχύς που μπορούν να δώσουν τότε μπορεί κανείς να μειώσει περαιτέρω τη αντίσταση



προγραμματισμού σύμφωνα με την πιο πάνω σχέση και έτσι να αυξήσει το ρεύμα φόρτισης και κατά συνέπεια και τον χρόνο φόρτισης. Συνεχίζοντας την ανάλυση των ακροδεκτών, ο ακροδέκτης "FB" είναι αυτός στον οποίο συνδέεται ο διαιρέτης τάσης της εξόδου και ο οποίος καθορίζει το επίπεδο της τάσης εξόδου. Η σχέση που δίνει την τάση εξόδου στην "LDO Mode" σε συνάρτηση με τις αντιστάσεις που συνδέονται στον ακροδέκτη "FB" είναι $V_{ΕΞΟΔΟΥ} = V_{ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ} * (1 + R_{FB1}/R_{FB2})$ όπου $V_{ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ}$ είναι μια σταθερή τάση ίση με 1.2 Volt και R_{FB1} , R_{FB2} είναι οι αντιστάσεις του διαιρέτη τάσης στην έξοδο όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουν επιλεγεί $R_{FB1} = 3.3 M\Omega$ και $R_{FB2} = 1 M\Omega$, οπότε η τάσης εξόδου προκύπτει τελικά 5.12 Volt. Αν ο ακροδέκτης αυτός βραχυκυκλωθεί με την είσοδο του ολοκληρωμένου τότε το κύκλωμα λειτουργεί στην "Normal Mode" και φορτίζει τους υπερπυκνωτές σε τάση ίση με την τάση εισόδου. Ο ακροδέκτης "SEL" χρησιμοποιείται για να καθορίσει την μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στα άκρα κάθε πυκνωτή. Αν ο ακροδέκτης αυτός βραχυκυκλωθεί με την γείωση του ολοκληρωμένου τότε ο κάθε πυκνωτής προγραμματίζεται ώστε η τάση στα άκρα του να μην ξεπερνά τα 2.45 Volt, ενώ όταν βραχυκυκλωθεί στην είσοδο του ολοκληρωμένου τότε η τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή προγραμματίζεται ώστε να μην ξεπερνά τα 2.7 Volt. Στον ακροδέκτη "VMID" βραχυκυκλώνεται το κοινό σημείο των δύο πυκνωτών, ενώ ο ακροδέκτης "GND" είναι η γείωση της πλακέτας. Τέλος όσον αφορά τους ακροδέκτες του ολοκληρωμένου υπάρχουν τρεις οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως προειδοποίηση για την επάρκεια της ισχύος εισόδου και εξόδου οι οποίοι όμως δεν χρησιμοποιούνται στο τελικό κύκλωμα.



Εικόνα 2.16. Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος εξισορρόπησης με τη χρήση του ολοκληρωμένου LTC4425

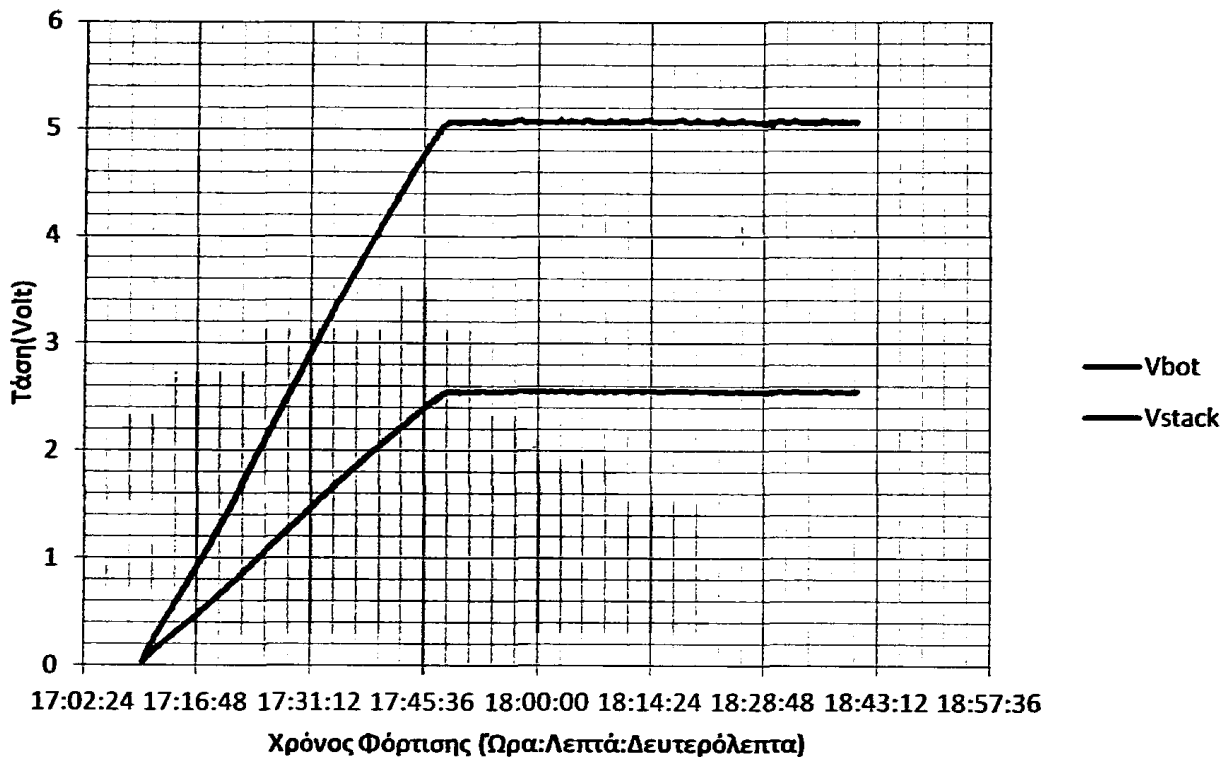
Στην εικόνα 2.16 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος φόρτισης με εξισορρόπηση με τη χρήση του LTC4425. Στο σχηματικό διάγραμμα διακρίνεται το στοιχείο U1 που είναι το LTC4425, οι αντιστάσεις προγραμματισμού R3,R8,R9 και R10 παράλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους, ο διαιρέτης τάσης R1,R2 που χρησιμοποιείται στον ακροδέκτη "PFI" που αναφέρθηκε πιο πάνω και το LED D2 που προειδοποιεί ότι η φόρτιση ολοκληρώθηκε. Οι ακροδέκτες J11,J12 και J13 χρησιμοποιούνται για να μπορεί ο χρήστης να μεταβάλει την αντίσταση προγραμματισμού. Ο ακροδέκτης J14 χρησιμοποιείται για να την αλλαγή από "Normal Mode" σε "LDO", ο ακροδέκτης J6 χρησιμοποιείται για να θέσει σε λειτουργία ή να διακόψει την λειτουργία του φορτιστή, ο ακροδέκτης J7 χρησιμοποιείται για να ρυθμιστεί αν η μέγιστη τάση φόρτισης θα είναι τα 2.7 Volt ή τα 2.5 Volt και τέλος ο ακροδέκτης J10 θέτει σε λειτουργία ή διακόπτει την λειτουργία του LED προειδοποίησης.

Προκειμένου να γίνει έλεγχος του χρόνου φόρτισης και του τρόπου με τον οποίο κάνει την εξισορρόπηση το ολοκληρωμένο LTC4425 έγιναν μετρήσεις με το σύστημα ελέγχου της τάσης εξόδου. Έγιναν διάφορα είδη μετρήσεων σε διάφορες καταστάσεις φόρτισης. Αυτές όμως που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι:

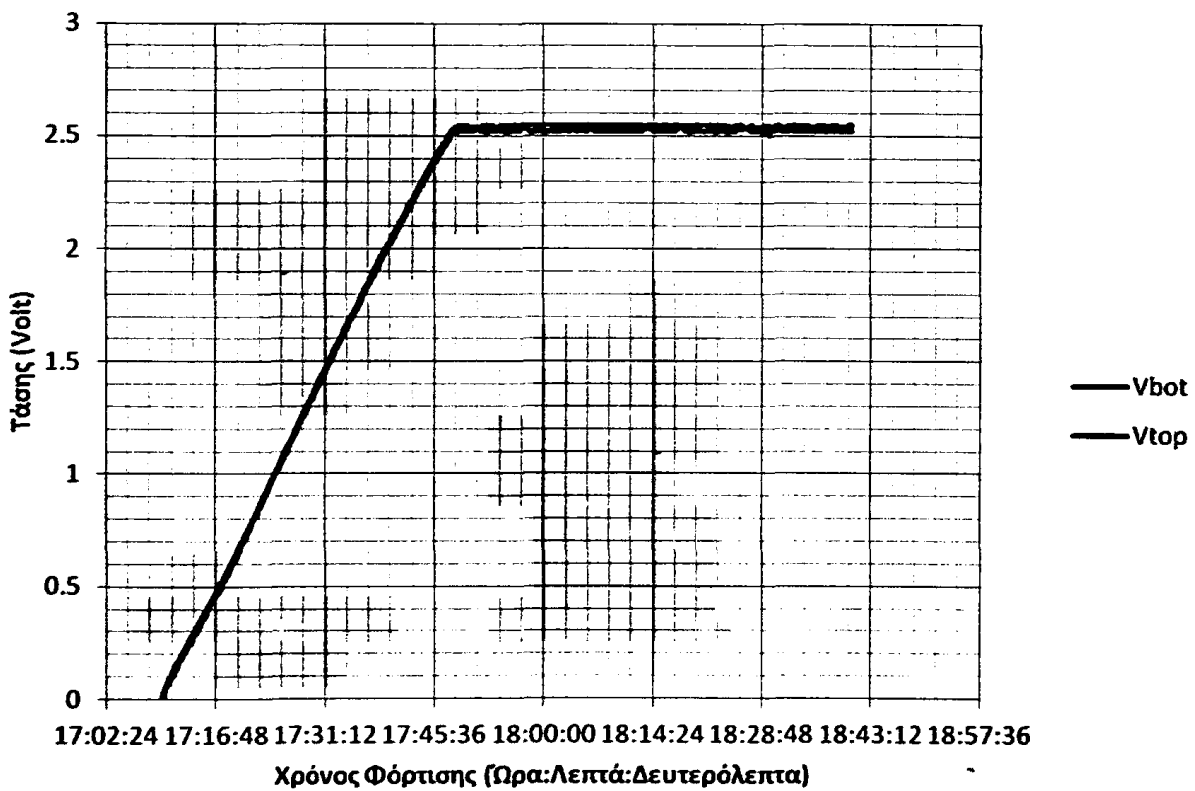
- 1) Πλήρης φόρτιση των δύο πυκνωτών με μηδενική αρχική τάση στα άκρα τους.

Η φόρτιση εδώ έγινε με τάση τροφοδοσίας 5.4 Volt ενώ το ρεύμα που κατανάλωνε το κύκλωμα μετρήθηκε από το τροφοδοτικό και βρέθηκε ίσο με το προγραμματιζόμενο (0.4 A). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στις γραφικές παραστάσεις των εικόνων 2.17 και 2.18. Ο συνολικός χρόνος φόρτισης όπως φαίνεται είναι 45 λεπτά





Εικόνα 2.17. Τάση στα άκρα του κάτω πυκνωτή και τάση στα άκρα της στοιβάς σε συνάρτηση με τον χρόνο.

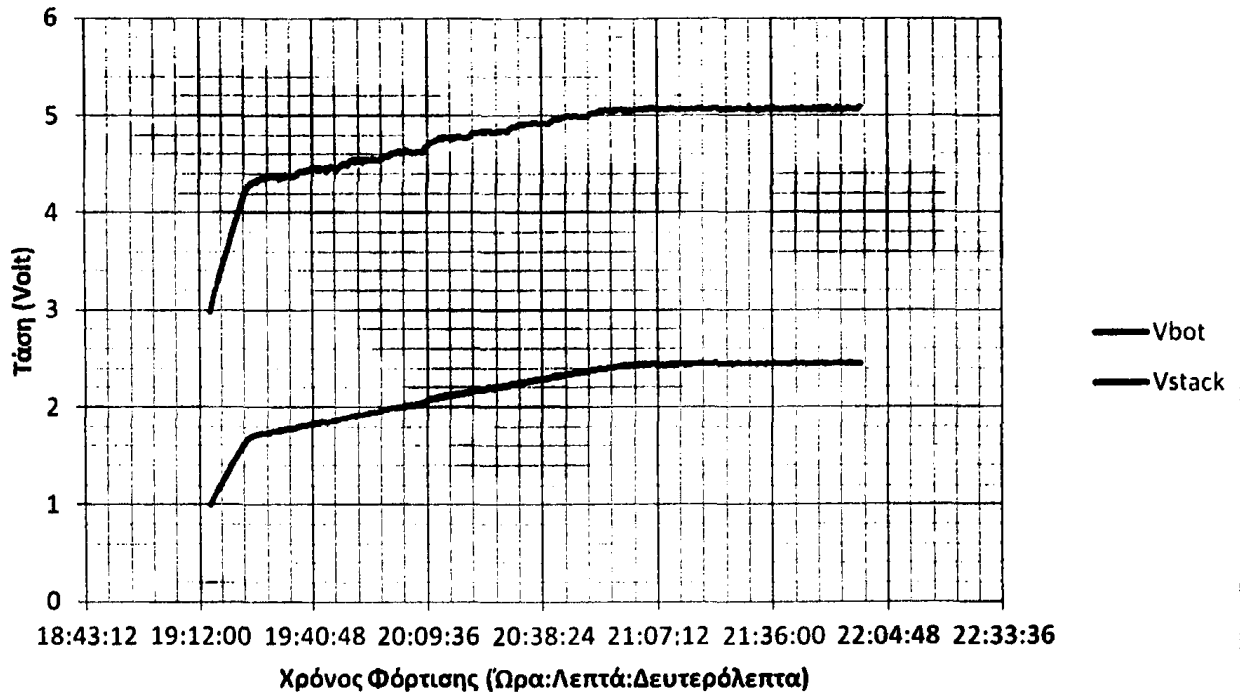


Εικόνα 2.18. Τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή σε συνάρτηση με τον χρόνο.

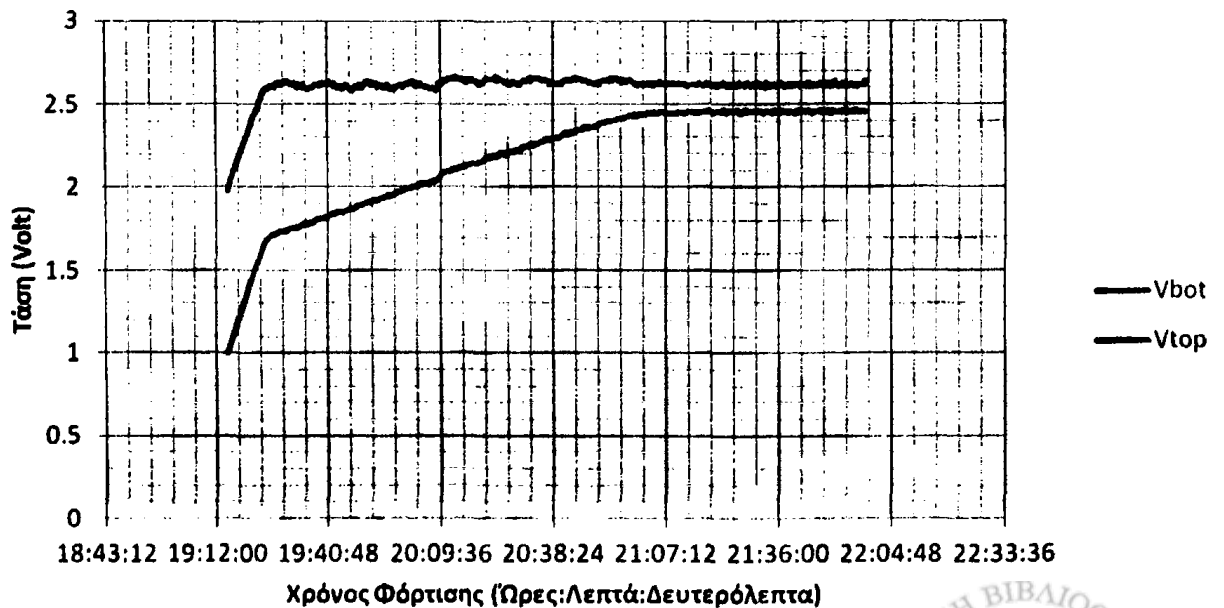
Στην εικόνα 2.18 φαίνεται ότι όταν η τάση στα άκρα του κάθε υπερπυκνωτή φτάσει στα 2.6 Volt σταματά η φόρτιση.

2) Φόρτιση των δύο πυκνωτών με διαφορετική τάση στα άκρα τους.

Τα στοιχεία φόρτισης και σε αυτήν την περίπτωση ήταν ίδια όπως και πριν ενώ τα αποτελέσματα φαίνονται στις εικόνες 2.19 και 2.20.



Εικόνα 2.19 Τάση στα άκρα του κάτω πυκνωτή και τάση στα άκρα της στοιβας σε συνάρτηση με τον χρόνο.

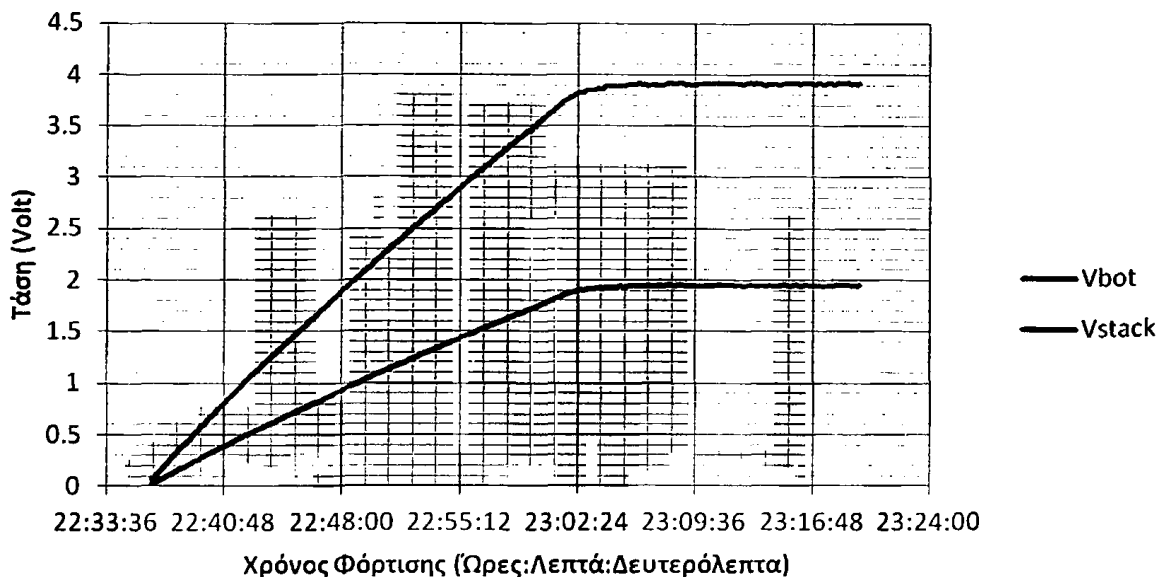


Εικόνα 2.20 Τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή σε συνάρτηση με τον χρόνο.

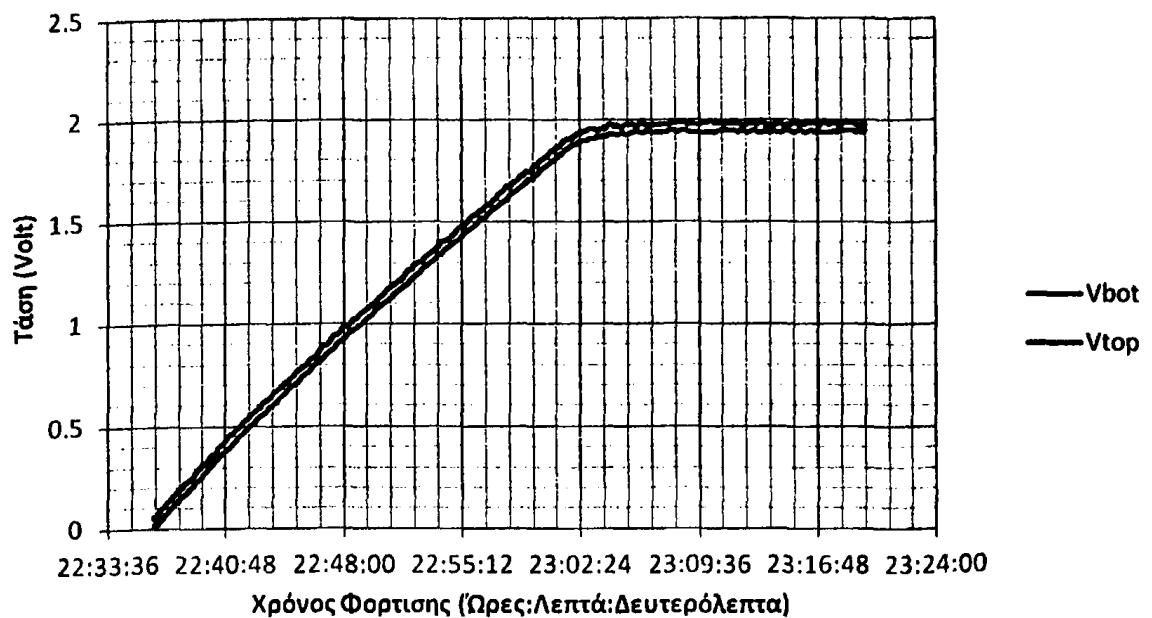
Από την εικόνα 2.20 προκύπτει ότι όταν η τάση στα άκρα του ενός υπερπυκνωτή φτάσει τα 2.6 Volt σταματά η φόρτισή του και φορτίζεται μόνο ο άλλος.

3) Φόρτιση των δύο πυκνωτών με τάση τροφοδοσίας μικρότερη από 5Volt.

Εδώ σύμφωνα με τον κατασκευαστή το ρεύμα φόρτισης αναμένεται να είναι το ίδιο ενώ η τάση στα άκρα της στοίβας δεν πρόκειται ποτέ να ξεπεράσει τα άκρα της στοίβας. Η τάση εισόδου επιλέχθηκε να είναι τα 4 Volt ενώ και εδώ το ρεύμα φόρτισης μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της φόρτισης στα 0.4 A. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στις γραφικές παραστάσεις των εικόνων 2.21 και 2.22.

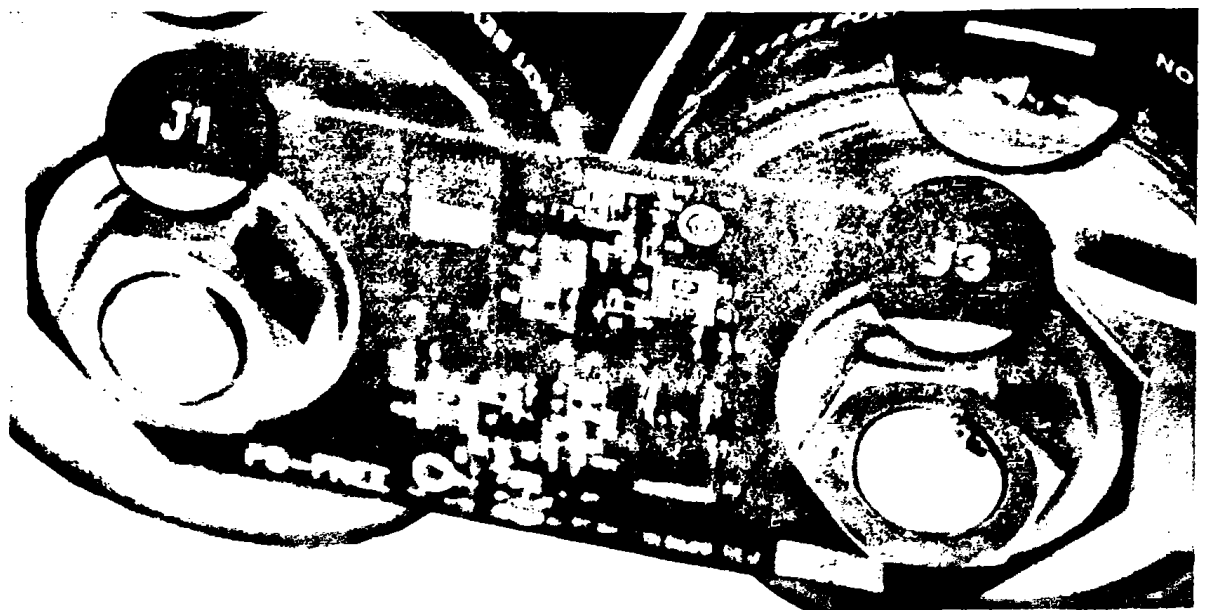


Εικόνα 2.21 Τάση στα άκρα του κάτω πυκνωτή και τάση στα άκρα της στοίβας σε συνάρτηση με τον χρόνο.



Εικόνα 2.22 Τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή σε συνάρτηση με τον χρόνο.

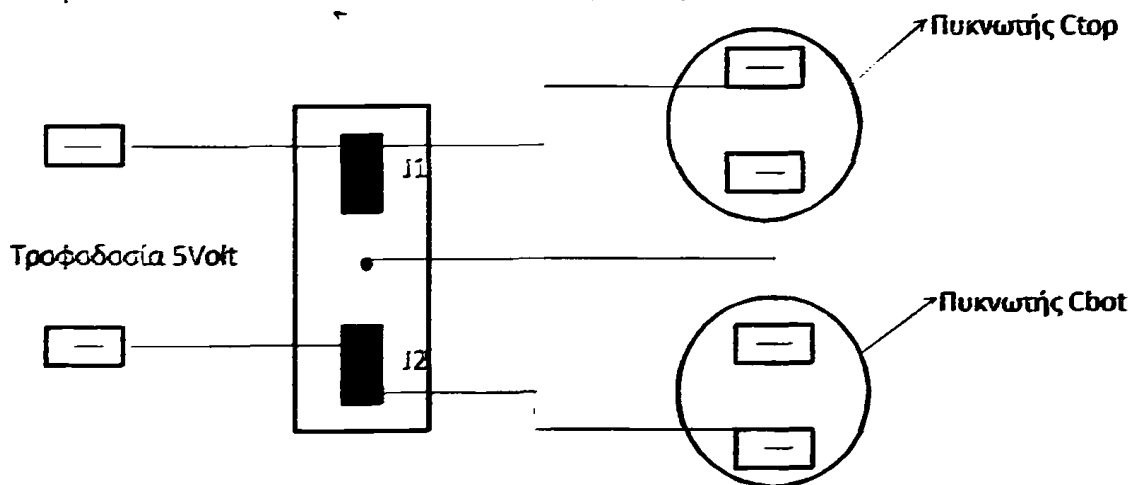
Εκτός όμως από τα δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα της εταιρίας LINEAR Technologies που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συστήματος φόρτισης των υπερπυκνωτών ελέγχθηκε και το σύστημα φόρτισης "Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS" που παρέχει η εταιρία Maxwell η οποία κατασκευάζει τους υπερπυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη κατασκευή.



Εικόνα 2.23. Κύκλωμα "Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS" εξισορρόπησης της τάσης της Maxwell

Το κύκλωμα "Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS", της Maxwell, που φαίνεται στην εικόνα 2.23 δεν χρησιμοποιεί μετατροπείς τάσης και μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Πρέπει να χρησιμοποιηθεί και δίοδος αντεπιστροφής για την προστασία του στοιχείου, κάτι το οποίο δεν χρειάζεται με τα προηγούμενα κυκλώματα καθώς οι πυκνωτές είναι απομονωμένοι από το φωτοβολταϊκό λόγω του μετατροπέα απομόνωσης DC-DC. Ο λόγος που αναφέρεται εδώ η χρήση της δίοδου αντεπιστροφής είναι ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που έγιναν με το κύκλωμα αυτό παρατηρήθηκε ότι όταν η γεννήτρια συνεχούς ρεύματος του εργαστηρίου ήταν κλειστή και οι πυκνωτές ήταν συνδεδεμένοι πάνω της κατά τη διάρκεια της νύχτας το πρωί η τάση τους είχε μειωθεί σημαντικά. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ των άκρων της γεννήτριας εσωτερικά υπάρχει κάποιο ωμικό φορτίο και συνεπώς υπήρξε εκφόρτιση των πυκνωτών σε αυτό. Ο τρόπος συνδεσμολογίας του κυκλώματος αυτού περιγράφεται λεπτομερώς στο φυλλάδιο τεχνικών προδιαγραφών της Maxwell η οποία και το προτείνει [44] ενώ φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 2.24

"Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS"

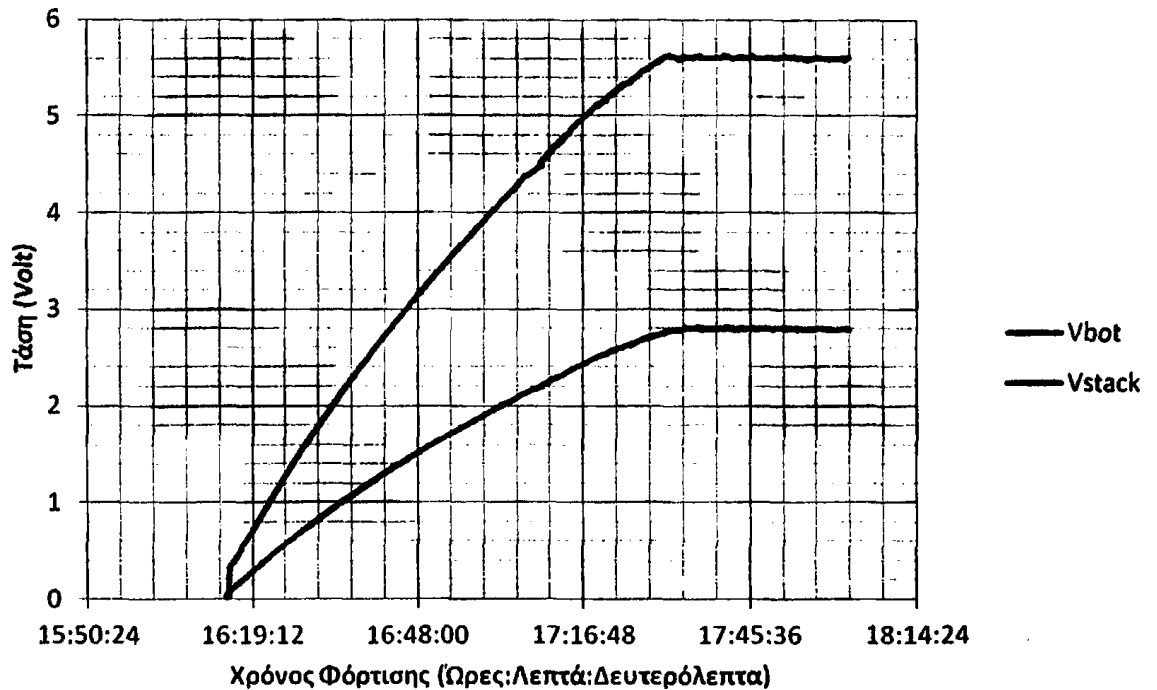


Εικόνα 2.24. Διάγραμμα συνδεσμολογίας του κυκλώματος "Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS" εξισορρόπησης της τάσης της Maxwell με τους πυκνωτές.

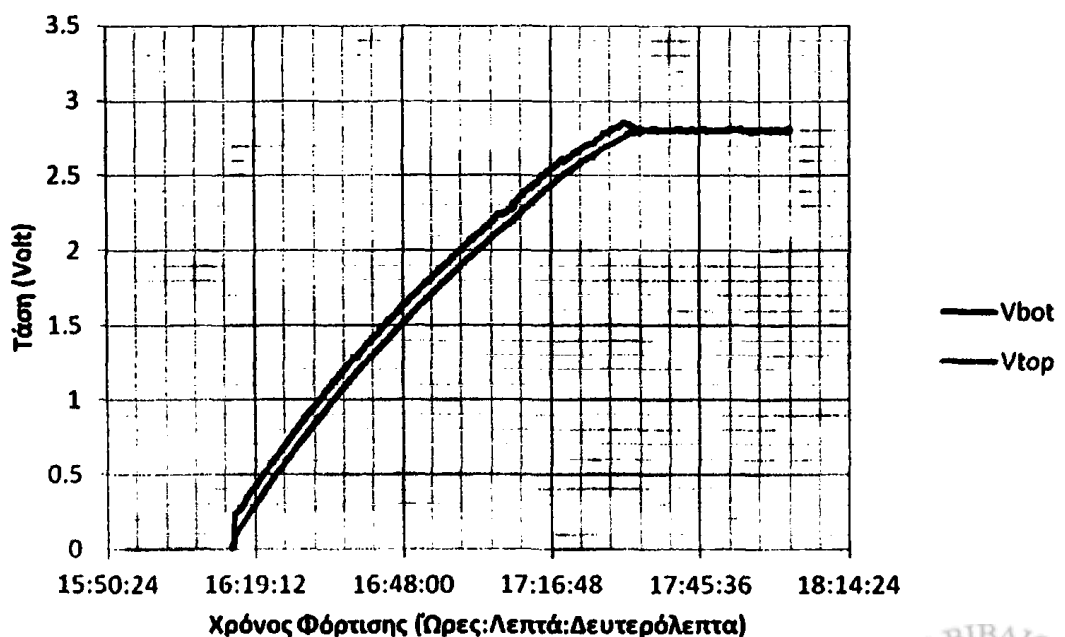
Η διαδικασία ελέγχου του κυκλώματος που κάνει εξισορρόπηση ήταν ίδια με την προηγούμενη. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν πυκνωτές χωρητικότητας 3000 F.

1) Πλήρης φόρτιση των δύο πυκνωτών με μηδενική αρχική τάση στα άκρα τους.

Η φόρτιση εδώ έγινε με τάση τροφοδοσίας 6 Volt ενώ το ρεύμα που καταναλώνει το κύκλωμα μετρήθηκε από το τροφοδοτικό στα 2.051 A. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στις γραφικές παραστάσεις των εικόνων 2.25 και 2.26.



Εικόνα 2.25. Τάση στα άκρα του κάτω πυκνωτή και τάση στα άκρα της στοιβάς σε συνάρτηση με τον χρόνο.



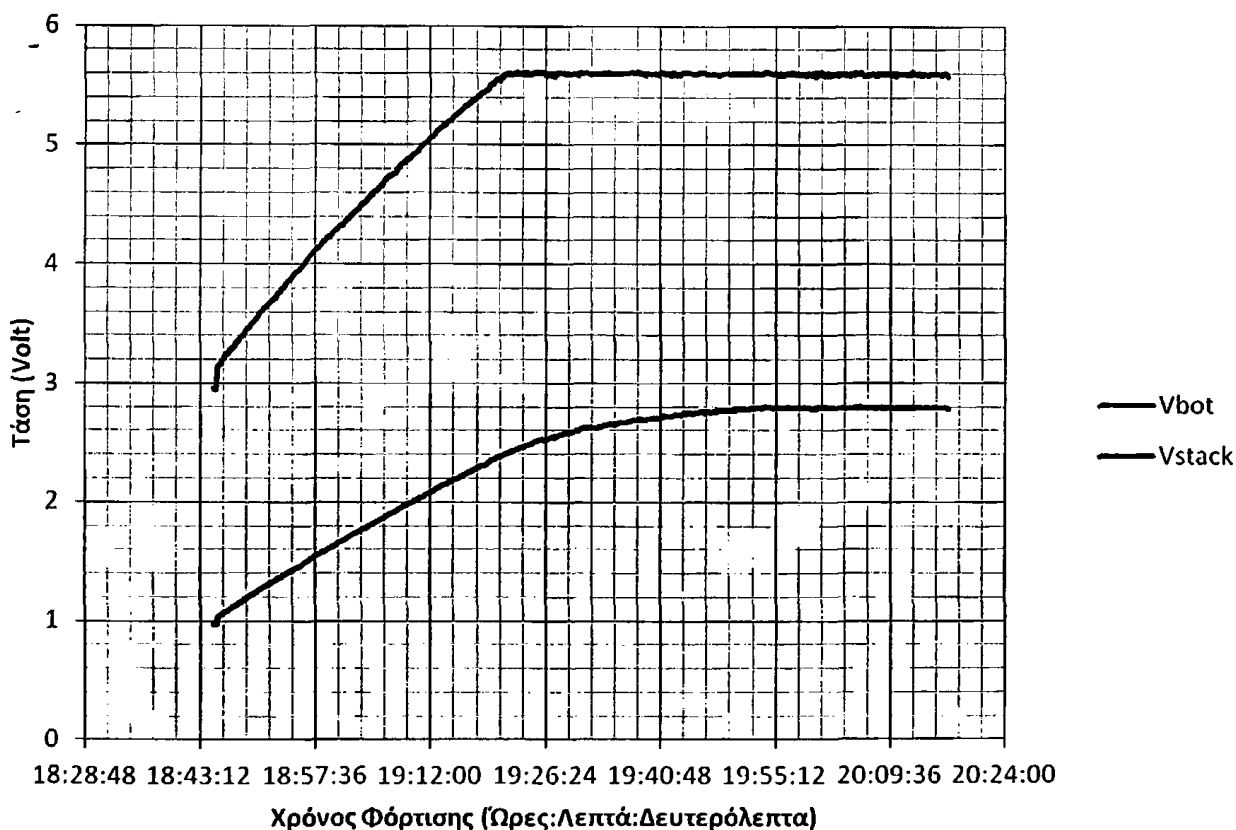
Εικόνα 2.26. Τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή σε συνάρτηση με τον χρόνο.



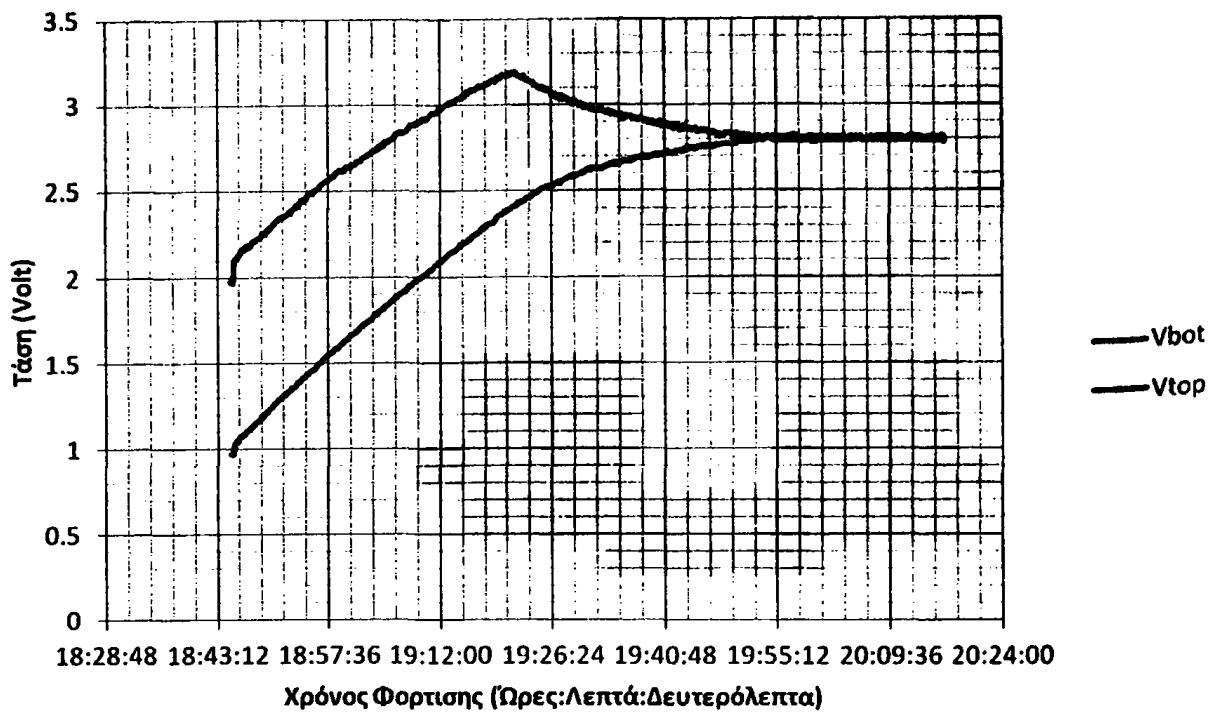
Όπως φαίνεται και στις εικόνες 2.25 και 2.26 ο συνολικός χρόνος φόρτισης του συστήματος είναι 77 λεπτά. Ο αντίστοιχος χρόνος χωρίς το κύκλωμα φόρτισης-εξισορρόπησης με ρεύμα 2 A είναι 52 λεπτά. Ο χρόνος φόρτισης με το κύκλωμα φόρτισης-εξισορρόπησης είναι μεγαλύτερος γιατί προσθέτοντας παθητικά στοιχεία παράλληλα στους πυκνωτές μειώνεται η συνολική εσωτερική αντίσταση του κυκλώματος και επομένως αυξάνεται η σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

2) Φόρτιση των δύο πυκνωτών με διαφορετική τάση στα άκρα τους.

Τα στοιχεία φόρτισης και σε αυτήν την περίπτωση ήταν ίδια όπως και πριν ενώ τα αποτελέσματα φαίνονται στις εικόνες 2.27 και 2.28.



Εικόνα 2.27 Τάση στα άκρα του κάτω πυκνωτή και τάση στα άκρα της στοίβας με τον χρόνο.

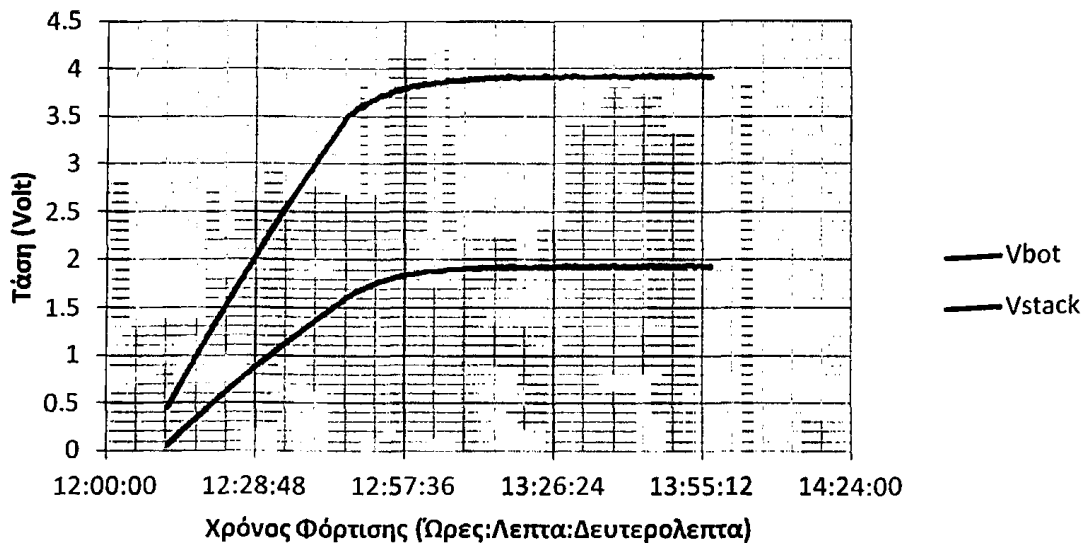


Εικόνα 2.28 Τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή με τον χρόνο.

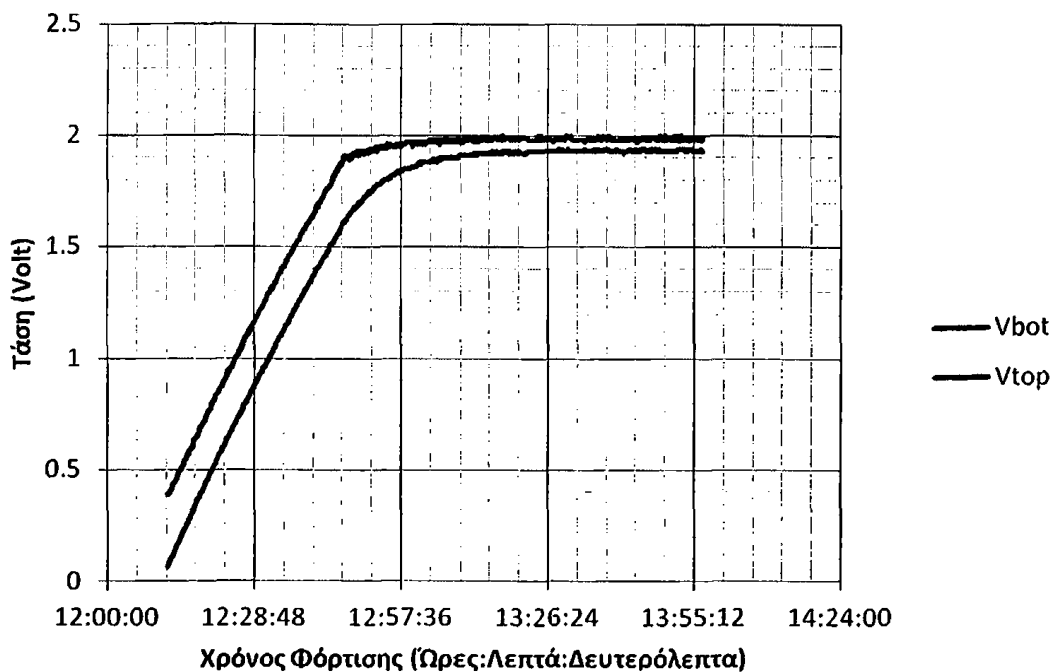
Στην εικόνα 2.28 φαίνεται ότι η εξισορρόπηση γίνεται όταν η τάση της συστοιχίας των υπερπυκνωτών φτάσει τα 5.6 Volt με αποτέλεσμα η τάση στα άκρα του ενός να υπερβαίνει για αρκετό χρονικό διάστημα την ονομαστική της τιμή.

3) Φόρτιση των δύο πυκνωτών με τάση εισόδου μικρότερη από τα 5Volt.

Το ρεύμα φόρτισης αναμένεται να είναι το ίδιο ενώ η τάση στα άκρα της στοίβας δεν πρόκειται ποτέ να υπερβεί την τάση εισόδου. Η τάση εισόδου επιλέχθηκε να είναι τα 4 Volt ενώ και εδώ το ρεύμα φόρτισης μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της φόρτισης στα 2.051 A. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στις γραφικές παραστάσεις των εικόνων 2.29 και 2.30.



Εικόνα 2.29 Τάση στα άκρα του κάτω πυκνωτή και τάση στα άκρα της στοιβας σε συνάρτηση με τον χρόνο.



Εικόνα 2.30 Τάση στα άκρα του κάθε πυκνωτή σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Το θετικό χαρακτηριστικό του LTC3625 είναι ότι μπορεί να δώσει τάση εξόδου μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Αυτό έχει πλεονεκτήματα στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών διότι τις μέρες που δεν θα έχει αρκετή ηλιοφάνεια, ακόμα και ένα μικρό ποσοστό από την δυνάμενη ενέργεια θα μπορεί να αποθηκευτεί στους πυκνωτές. Παρ' όλ' αυτά όμως όσα κυκλώματα επιχειρήθηκαν να κατασκευαστούν με αυτό το ολοκληρωμένο, παρουσίασαν προβλήματα όπως αυτά που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Ένα μειονέκτημα του LTC4425 είναι ότι δεν μπορεί να φορτίσει τους πυκνωτές σε τάση εξόδου μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Το ίδιο ισχύει και για το κύκλωμα "Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS" της Maxwell. Το πλεονέκτημα του κυκλώματος LTC4425 είναι ότι μέσω κάποιων αντιστάσεων ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει το ρεύμα φόρτισης μέχρι και τα 3 A. Το κύκλωμα της Maxwell έχει την δυνατότητα να τραβήξει ρεύμα μεγαλύτερο από 3 A. Όμως όπως φαίνεται στις γραφικές παραστάσεις της εικόνας 2.28 κατά τη φόρτιση των δύο πυκνωτών από διαφορετικές τάσεις ο ένας πυκνωτής για κάποιο διάστημα υπερβαίνει την ονομαστική τάση λειτουργίας του που είναι τα 2.7 Volt και αυτό αν γίνει πολλές φορές μπορεί να τον καταστρέψει, πράγμα το οποίο δεν θα συμβεί με το LTC4425. Επίσης το LTC4425 δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να μπορεί να χρησιμοποιήσει και πυκνωτές με ονομαστική τάση 2.5 Volt που κυκλοφορούν στην αγορά ενώ το κύκλωμα της Maxwell είναι συμβατό με πυκνωτές ονομαστικής τάσης λειτουργίας 2.7 Volt. Ένα άλλο πλεονέκτημα του συστήματος που κατασκευάστηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι ότι λόγω των μετατροπών απομόνωσης που χρησιμοποιεί μπορεί να περιορίσει σφάλματα από κεραυνούς ή βραχυκυκλώματα σε συγκεκριμένα μέρη του κυκλώματος. Για παράδειγμα ένα κεραυνικό πλήγμα δεν θα επηρεάσει το κύκλωμα φόρτισης λόγω της απομόνωσής του από το κύκλωμα τροφοδοσίας. Βέβαια το σημαντικότερο πλεονέκτημα του κυκλώματος της Maxwell είναι ότι είναι πολύ πιο φθηνό από το σύστημα που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας και αυτό το καθιστά πιθανώς καταλληλότερο σε μια κατασκευή αν αναλογιστεί κανείς ότι και το κόστος των υπερπυκνωτών αυτή την στιγμή είναι αρκετά υψηλό. Η περιγραφή της πλακέτας που κατασκευάστηκε για την τοποθέτηση των υπερπυκνωτών και τα στοιχεία της πλακέτας των φορτιστών βρίσκονται στα παραρτήματα I.1.3 και I.1.4. αντίστοιχα.

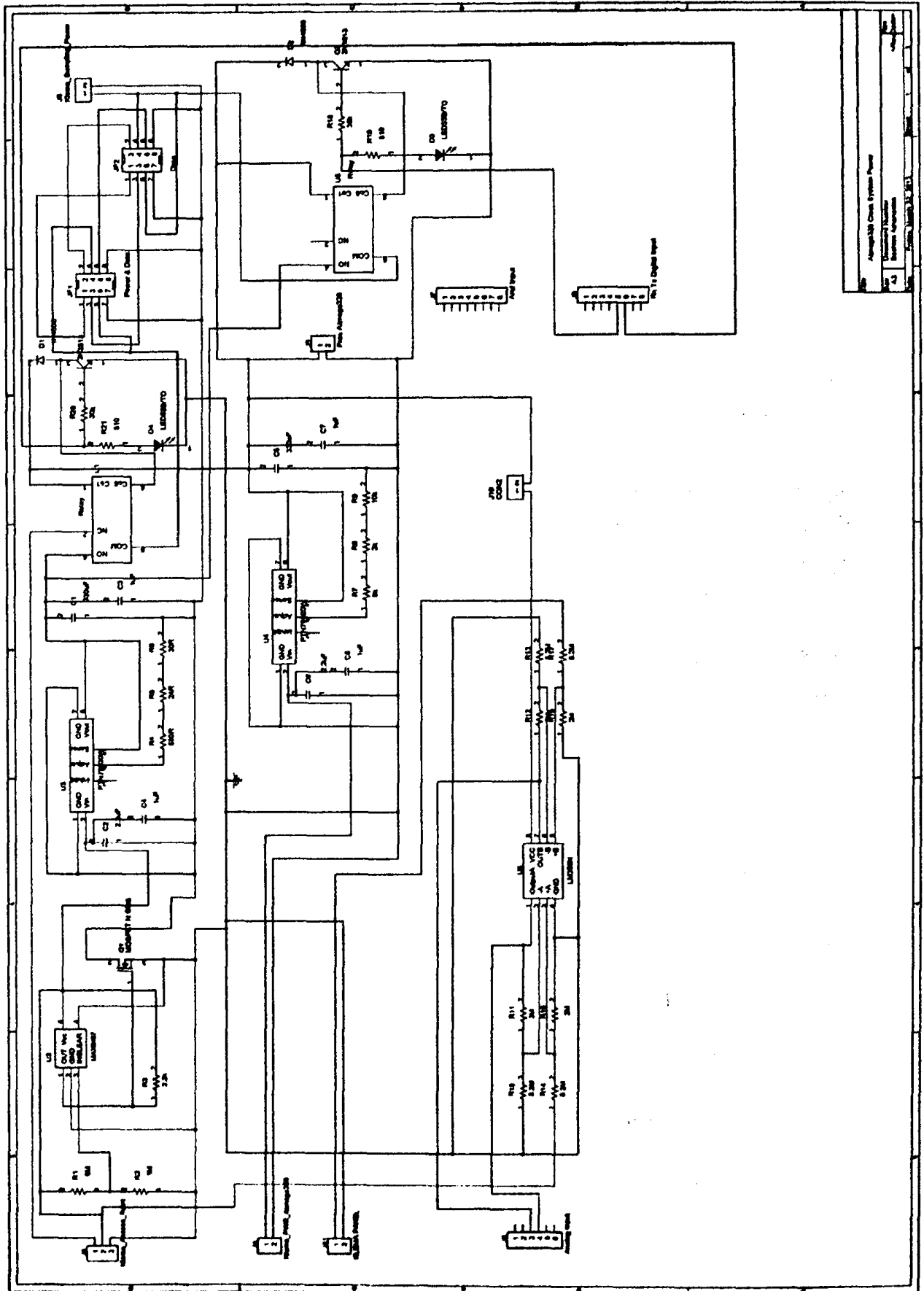
2.1.4. Το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου.

Η τάση στα άκρα της στοίβας των έξι υπερπυκνωτών σε σειρά μετά από μια πλήρη φόρτιση είναι 16.2 Volt. Επειδή όμως τα κυκλώματα που έπονται των πυκνωτών είναι τα AP και οι κατασκευαστές των κυκλωμάτων αυτών συνιστούν οι τάσεις τροφοδοσίας τους να είναι σταθερές, προέκυψε η ανάγκη να κατασκευαστεί ένα κύκλωμα που να σταθεροποιεί την τάση εξόδου και ταυτόχρονα να μπορεί να κάνει εξοικονόμηση ενέργειας λειτουργώντας ως ένα προγραμματιζόμενο ρολόι. Επίσης η τάση τροφοδοσίας των αισθητήρων



είναι και αυτή σταθερή και ίση με 12 Volt. Μια σημαντική λεπτομέρεια στην ανάπτυξη του συστήματος είναι ότι η τροφοδοσία των AP γίνεται μέσω του καλωδίου Ethernet. Το καλώδιο Ethernet έχει τέσσερα καλώδια που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των δεδομένων και άλλα τέσσερα που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία διάφορων συσκευών (Power over Ethernet ή PoE).

Οι κλασικοί σταθεροποιητές LM78XX έχουν χαμηλή απόδοση 85% σε σχέση με τους διακοπτικούς που έχουν ως 94% και για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι διακοπτικοί. Έτσι το κύκλωμα με το οποίο έγινε η σταθεροποίηση της τάσης βασίζεται στην έτοιμη πλακέτα PTN78020 της εταιρίας Texas Instruments που χρησιμοποιήθηκε και στην είσοδο της κατασκευής μόνο που άλλαξαν οι αντιστάσεις που καθορίζουν την σταθεροποιημένη τάση εξόδου. Επιπλέον προστέθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα MAX6457 της εταιρίας MAXIM το οποίο αφήνει να περάσουν μετά από αυτό οι τάσεις πάνω από τις οποίες έχει προγραμματιστεί [45]. Ο προγραμματισμός γίνεται μέσω αντιστάσεων που είναι συνδεδεμένες στις εισόδους του. Εδώ έχουν χρησιμοποιηθεί οι κατάλληλες αντιστάσεις ώστε να μπορούν να περάσουν μετά το MAX6457 τάσεις πάνω από τα 12Volt. Έτσι μόλις η τάση στα άκρα των πυκνωτών υπερβεί τα 12Volt περνάει από το MAX6457 και πηγαίνει στον σταθεροποιητή. Τέλος στο ίδιο κύκλωμα έχει συμπεριληφθεί και ένα "Relay" το οποίο οδηγείται από έναν μικροελεγκτή.



Εικόνα 2.31. Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου της τάσης εξόδου.

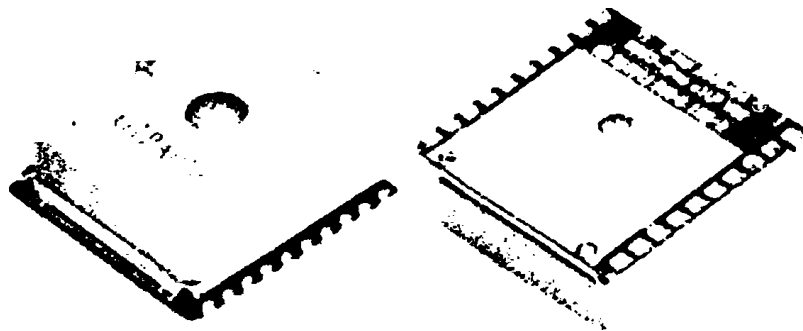


Η εικόνα 2.31 δείχνει το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου της τάσης εξόδου. Η τάση των πυκνωτών τροφοδοτεί δύο σταθεροποιητές, τον U3 και τον U4. Ο U4 χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή μέσω του συνδέτη J5 και ο U3 για την τροφοδοσία των σταθμών δειγματοληψίας και των ασύρματων σημείων πρόσβασης. Η είσοδος του U3 αρχικά ελέγχεται από το MAX6457. Αν η τάση είναι μεγαλύτερη από 12 Volt τότε ενεργοποιείται το Mosfet Q1 και η τάση περνά στον διακοπτικό σταθεροποιητή ενώ στην αντίθετη περίπτωση η τάση πριν την είσοδο του σταθεροποιητή U3 είναι μηδενική. Ο διακοπτικός σταθεροποιητής χρησιμοποιείται για να σταθεροποιήσει την τάση εξόδου στα 12 Volt όταν αυτή τα υπερβαίνει. Το Relay U1 στο διάγραμμα της 2.30 ελέγχεται από τον μικροελεγκτή και όταν η ώρα ταιριάζει με αυτήν που έχει επιλέξει ο χρήστης, ενεργοποιείται και αφήνει την τάση να περάσει στον συνδέτη θηλυκού τύπου για διασύνδεση Ethernet JF1. Ο JF2 χρησιμοποιείται για την είσοδο των δεδομένων και την τροφοδοσία του σταθμού δειγματοληψίας και ο JF1 για την έξοδο των δεδομένων, συνοδευόμενη και από την ενέργεια που παρέχουν οι υπερπυκνωτές (PoE) προς το AP. Επιπλέον των δύο αυτών συνδέτων έχει τοποθετηθεί και ο συνδέτης J6 για την τροφοδοσία με 12 Volt του σταθμού δειγματοληψίας χωρίς τη χρήση του Ethernet καλωδίου. Επίσης έχει προβλεφθεί και η χρήση του δεύτερου interrupt που δίνει το ρολόι πραγματικού χρόνου με σκοπό να μπορεί κανείς να προγραμματίσει και τον μικροελεγκτή που ελέγχει την δειγματοληψία να μπορεί και αυτός να πέφτει σε κατάσταση ύπνου και να ξυπνάει όταν του στέλνει interrupt το ρολόι. Το Relay U5 που φαίνεται στο σχηματικό διάγραμμα μετά τον σταθεροποιητή χρησιμοποιείται για να δίνει τροφοδοσία στον σταθμό δειγματοληψίας μέσω του ακροδέκτη JF2. Το Relay U5 ενεργοποιείται από τον μικροελεγκτή μέσω του ακροδέκτη 6 του συνδέτη J9 ενώ το Relay U4 μέσω του ακροδέκτη 5 του J9 όπως φαίνεται στο σχηματικό διάγραμμα.

Το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου περιλαμβάνει και μια θέση στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα LM358N (U5) όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο μετρητικό σύστημα και το οποίο μετατρέπει τα 0-20 Volt σε 0-5 Volt με σκοπό να μπορεί ο χρήστης στο μέλλον, αν το επιθυμεί, να ελέγχει την τάση των φωτοβολταϊκών και τον πυκνωτών. Οι έξοδοι του τελεστικού ενισχυτή καταλήγουν στους ακροδέκτες 3 και 4 του συνδέτη J8 και τελικά μέσω αυτών στις αναλογικές εισόδους 3 και 4 του μικροελεγκτή. Τα στοιχεία της πλακέτας που κατασκευάστηκε για το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου βρίσκονται στο παράρτημα I.1.5.

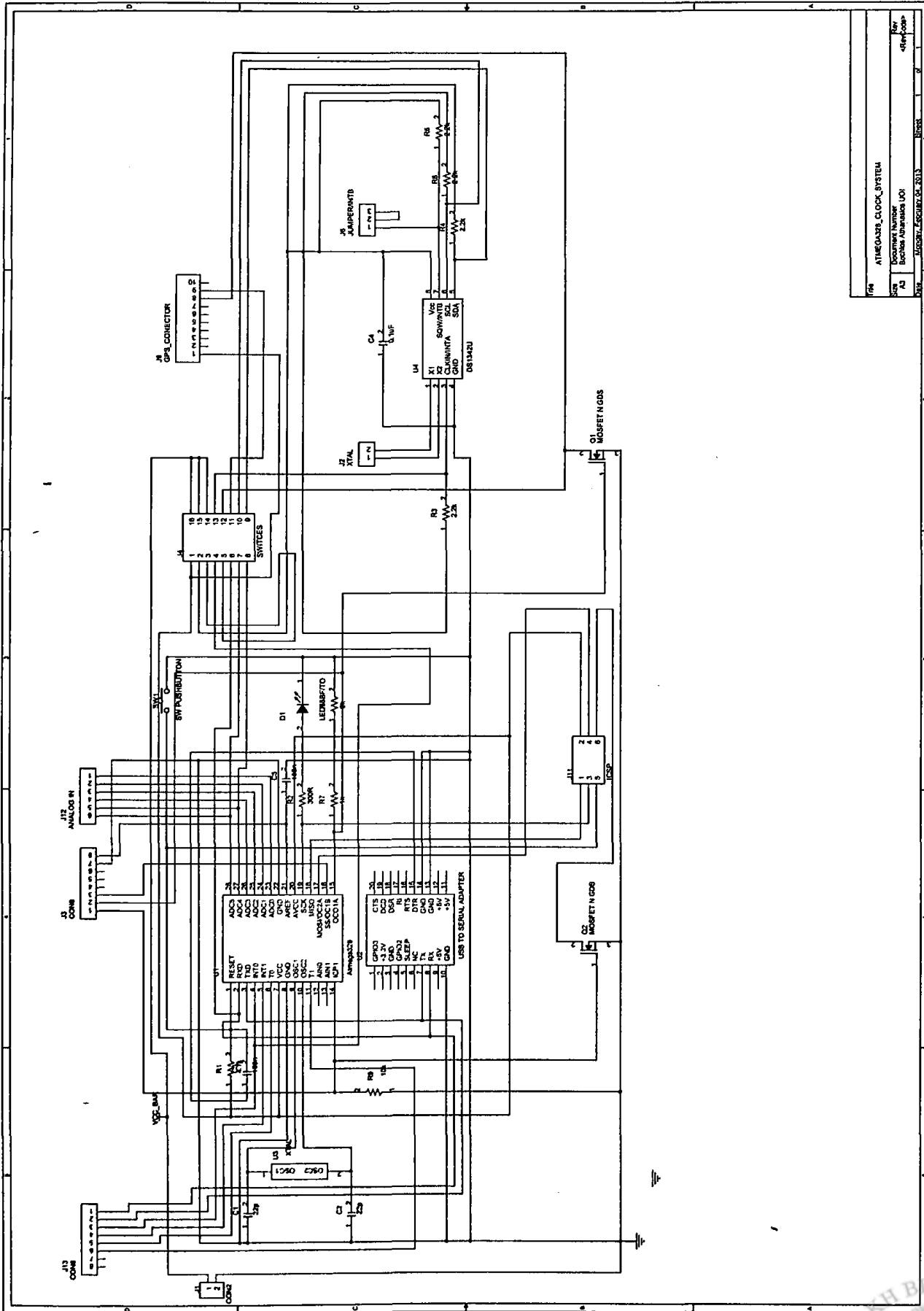
2.1.5. Περιοδική λειτουργία του αναμεταδότη με τη χρήση ρολογιού πραγματικού χρόνου και μικροελεγκτή.

Στο κύκλωμα που έχει κατασκευαστεί για την περιοδική λειτουργία του αναμεταδότη χρησιμοποιείται μικροελεγκτής και ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC ή Real Time Clock). Το ρολόι πραγματικού χρόνου χρησιμοποιείται για να ξυπνήσει περιοδικά ο μικροελεγκτής από την κατάσταση sleep mode (κατανάλωση 0.1 μA) στην οποία βρίσκεται. Το ρολόι πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιήθηκε είναι το DS1342 της εταιρίας MAXIM [46]. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο ρολόι είναι η χαμηλή κατανάλωση (250 nA) ενώ ταυτόχρονα παρέχεται η δυνατότητα της χρήσης δύο διακοπών Interrupt για την αφύπνιση του μικροελεγκτή από την κατάσταση sleep mode. Επίσης, λόγω της πεπερασμένης ακρίβειας επιλέχθηκε μια φορά την ημέρα η βαθμονόμησή του με την ώρα UTC (Coordinated Universal Time) με τη βοήθεια ενός δέκτη GPS (Global Position System). Ο δέκτης GPS που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο σύστημα είναι ο GTPA010 της εταιρίας GlobalTop Technologies και φαίνεται στην εικόνα 2.32 [47]. Ο λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος δέκτης είναι η χαμηλή του κατανάλωση (5 Volt, 70 mA).



Εικόνα 2.32. Δέκτης GPS GTPA010

Η διάταξη του μικροελεγκτή με το ρολόι παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα της εικόνας 2.33.



Εικόνα 2.33. Κύκλωμα συγχρονισμού των αναμεταδοτών.

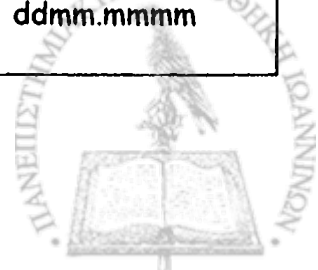


Στην εικόνα 2.33 ο μικροελεγκτής U1 συνδέεται με τον μετατροπέα του USB σήματος σε σειριακό U2 και από εκεί γίνεται ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή. Το U4 είναι το ρολόι πραγματικού χρόνου το οποίο στέλνει interrupt στον ακροδέκτη 4 του μικροελεγκτή ενώ ο συνδέτης J9 που φαίνεται στο διάγραμμα χρησιμοποιείται για την σύνδεση του δέκτη GPS. Επίσης στο διάγραμμα φαίνεται ο κρύσταλλος U3 που χρησιμοποιεί ο μικροελεγκτής και ο κρύσταλλος J2 που χρησιμοποιεί το ρολόι πραγματικού χρόνου. Το κουμπί SW1 χρησιμοποιείται για να γίνεται επανεκκίνηση στον μικροελεγκτή. Τα στοιχεία της πλακέτας που κατασκευάστηκε για το κύκλωμα συγχρονισμού των αναμεταδοτών βρίσκονται στο παράρτημα I.1.6.

Το ρολόι πραγματικού χρόνου DS1342 που χρησιμοποιείται στο σύστημα συγχρονίζει τους σταθμούς. Χρησιμοποιεί καταχωρητές μέσω των οποίων ρυθμίζεται η ώρα και άλλους για να δίνουν "Interrupts". Όταν δοθεί ένα "Interrupt", για να μπορέσει να δοθεί το επόμενο ο αντίστοιχος καταχωρητής πρέπει να ξαναφορτωθεί με την προηγούμενη τιμή. Η πρώτη ενέργεια του μικροελεγκτή μετά την ενεργοποίησή του με το interrupt του DS1342 είναι να δώσει την τιμή σε αυτόν τον καταχωρητή και στην συνέχεια να ελέγξει την ώρα από το ρολόι. Αν η ώρα ταιριάζει με την τιμή στην οποία έχει προγραμματιστεί ο μικροελεγκτής τότε ενεργοποιείται ο μικροαυτόματος διακόπτης (Relay) που δίνει τροφοδοσία στα AP και στους σταθμούς δειγματοληψίας όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η επικοινωνία μεταξύ του δέκτη GPS και του μικροελεγκτή γίνεται σειριακά. Έτσι για να προγραμματισθεί ο μικροελεγκτής θα πρέπει να απενεργοποιηθεί μέσω ενός διακόπτη που υπάρχει πάνω στην πλακέτα ο ακροδέκτης της σειριακής επικοινωνίας που χρησιμοποιεί ο δέκτης GPS και αφού περαστεί το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή να ξανά ενεργοποιηθεί. Στον πίνακα που ακολουθεί αναλύεται μια σειρά δεδομένων που λαμβάνονται από τον δέκτη και τα οποία διαχωρίστηκαν από τον μικροελεγκτή και χρησιμοποιήθηκαν για την αρχικοποίηση του RTC. Το GPS στέλνει στον μικροελεγκτή την ακόλουθη ακολουθία χαρακτήρων:

\$GPRMC,064951.000,A,2307.1256,N,12016.4438,E,0.03,165.48,260406,3.05,W,A*55

Όνομα	Παράδειγμα	Μονάδες	Περιγραφή
ID μηνύματος	\$GPRMC		Επικεφαλίδα πρωτοκόλλου RMC
Ώρα UTC	064951.000		hhmmss.sss
Κατάσταση	A		A= έγκυρα δεδομένα V= μη έγκυρα δεδομένα
Γεωγραφικό πλάτος	2307.1256		ddmm.mmmm



Βόρειο N/ Νότιο S	N		N=North S=South
Γεωγραφικό μήκος	12016.4438		dddmm.mmmm
Ανατολικό E/ Δυτικό W	E		E=East W=West
Ταχύτητα δέκτη πάνω από το έδαφος	0.03	knots	
Αζιμούθιο	165.48	degrees	True
Ημερομηνία	260406		ddmmyy
Μαγνητικός Μέσος	3.05,W	degrees	E=East ή W=West
Κατάσταση	A		A= Autonomous mode D= Differential mode E= Estimated mode
Έλεγχος τερματισμού	*55		Τέλος του πρωτοκόλλου

Πίνακας 2.3 Στοιχεία πρωτοκόλλου RMC [48].

2.1.6. Λογισμικό μικροελεγκτή.

Αναπτύχθηκαν:

- Ένα πρόγραμμα σε γλώσσα C που λειτουργεί στον μικροελεγκτή του μετρητικού συστήματος
- Ένα πρόγραμμα σε γλώσσα C που λειτουργεί στον μικροελεγκτή των σταθμών δειγματοληψίας και
- Ένα πρόγραμμα σε γλώσσα C που λειτουργεί στον μικροελεγκτή των αναμεταδοτών.

Με το λογισμικό του μετρητικού συστήματος ελέγχεται η τιμή της τάσης σε δύο από τους ακροδέκτες της αναλογικής του εισόδου και αφού μετατραπεί στην πραγματική τιμή όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 2.1.1 στέλνεται στην σειριακή έξοδο. Το λογισμικό του μετρητικού συστήματος βρίσκεται στο παράρτημα II.1.2

Το λογισμικό που γράφτηκε για τους μικροελεγκτές των αναμεταδοτών και των σταθμών δειγματοληψίας περιλαμβάνει της παραμέτρους που φαίνονται στον πίνακα 2.4 και τις συναρτήσεις του πίνακα 2.5.

Όνομα Παραμέτρου-Μεταβλητής	Περιγραφή	Αρχική τιμή
second	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή δευτερολέπτων στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X00
minute	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή λεπτών στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X27
hour	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή ώρας στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X10
wkDay	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή αριθμού ημέρας της εβδομάδας στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X07
day	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή αριθμού ημέρας μήνα στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X26
month	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή αριθμού μήνα στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X01
year	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή έτους στο ρολόι πραγματικού χρόνου	0X13
a1_sec	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή δευτερολέπτων για το interrupt 1	0X00
a1_min	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή λεπτών για το interrupt 1	0X90
a1_hour	Παράμετρος που καθορίζει την τιμή του καταχωρητή ώρας για interrupt 1	0X80
a1_date	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή του αριθμού ημέρας του μήνα για το interrupt 1	0X80
a2_min	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή λεπτών για το interrupt 2	0X80
a2_hour	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή ώρας για interrupt 2	0X80
a2_date	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή αριθμού ημέρας του μήνα για το interrupt 2	0X80
eosc	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή ενεργοποίησης του ρολογιού	0X07
osf	Καθορίζει την τιμή του καταχωρητή ενεργοποίησης των interrupt	0X00
s,m,h	Καθορίζουν τις τιμές των καταχωρητών δευτερολέπτων, λεπτών και ώρας στο ρολόι πραγματικού χρόνου	



RelayPin	Παράμετρος ψηφιακής εξόδου: όταν η τιμή της είναι 1 ενεργοποιείται το Relay των AP	0 (bit)
sleepPin	Παράμετρος ψηφιακής εισόδου: όταν η τιμή της είναι 0 ενεργοποιείται η κατάσταση sleep mode	1 (bit)
interruptPin	Παράμετρος ψηφιακής εξόδου η οποία δείχνει την κατάσταση του interrupt	1 (bit)
wakePin	Παράμετρος ψηφιακής εισόδου: όταν η τιμή της είναι μηδέν γίνεται αφύπνιση του μικροελεγκτή	0 (bit)
sleepStatus	Μεταβλητή στην οποία αποθηκεύεται προσωρινά η τιμή για sleep mode	0 (bit)
GPSPin	Παράμετρος ψηφιακής εξόδου: 1 = GPS on	0 (bit)
ledPin	Παράμετρος ψηφιακής εξόδου: 1 = led on	0 (bit)
rxPin	Ψηφιακή εισόδος της σειριακής επικοινωνία	
txPin	Ψηφιακή εξόδος της σειριακής επικοινωνία	
byteGPS	Μεταβλητή στη οποία αποθηκεύεται προσωρινά η τιμή του byte που διαβάζεται στην σειριακή είσοδο	-1
linea1[300]	Πίνακας με τον οποίο ορίζεται το μέγεθος του buffer στον οποίο αποθηκεύεται προσωρινά η τιμή του byteGPS	
comadnoGPR	Μεταβλητή με την οποία ορίζεται το μέγεθος και το περιεχόμενο της ακολουθίας χαρακτήρων του πρωτοκόλλου επικοινωνίας	"GPRMC"
cont, bien	Βοηθητικές μεταβλητές	0
conta	Βοηθητική μεταβλητή για την είσοδο των δεδομένων στον buffer	0
indices1[13]	Πίνακας που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η θέση του κόμματος που διαχωρίζει τα στοιχεία του πρωτοκόλλου GPRMC	0

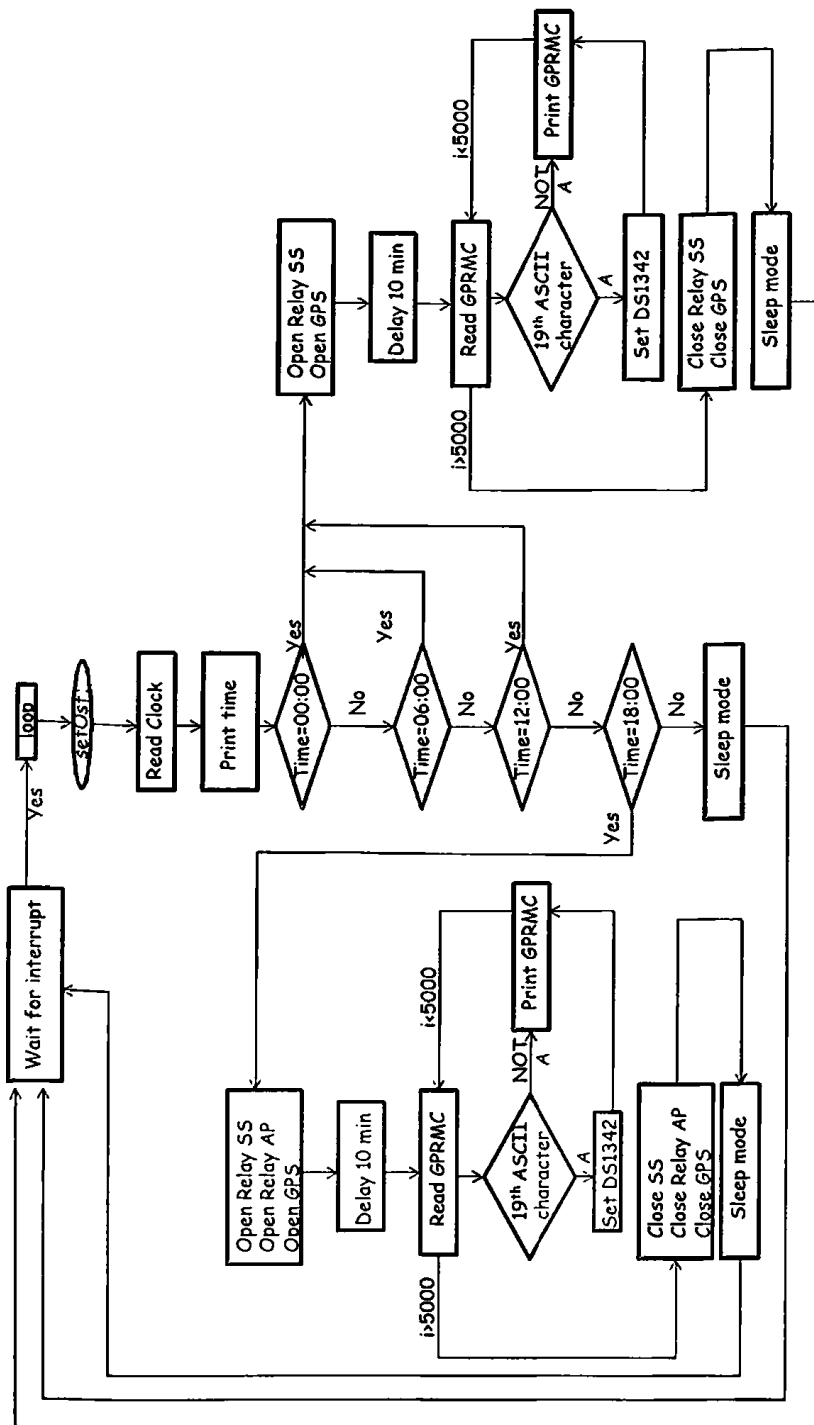
Πίνακας 2.4 Παράμετροι-Μεταβλητές του λογισμικού του μικροελεγκτή που βρίσκεται στον αναμεταδότη και στον σταθμό δειγματοληψίας.

Όνομα συνάρτησης	Περιγραφή
sleepNow	Ελέγχει την τιμή των παραμέτρων sleepPin και wakePin και ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την κατάσταση sleep mode
wakeUpNow	Συγκρατεί την τιμή του interrupt μετά την αφύπνιση του μικροελεγκτή
setA1	Χρησιμοποιείται για να σταλεί μέσω της I2C η τιμή των παραμέτρων a1_sec, a1_min, a1_hour, a1_date στο ρολόι πραγματικού χρόνου
setA2	Χρησιμοποιείται για να σταλεί μέσω της I2C η τιμή των παραμέτρων a2_min, a2_hour, a2_date στο ρολόι πραγματικού χρόνου
setEosc	Χρησιμοποιείται για να σταλεί μέσω της I2C η τιμή της παραμέτρου eosc στο ρολόι πραγματικού χρόνου
setOsf	Χρησιμοποιείται για να σταλεί μέσω της I2C η τιμή της παραμέτρου osf στο ρολόι πραγματικού χρόνου
bcd2dec	Χρησιμοποιείται για να μετατρέψει έναν δυαδικό χαρακτήρα σε δεκαδικό
printDigits	Χρησιμοποιείται για να ορίσει τον τρόπο με τον οποίο θα σταλεί η ώρα μέσω σειριακής επικοινωνίας
setDS1342	Χρησιμοποιείται για να σταλεί μέσω της I2C την τιμή των παραμέτρων s,m,h που διαβάζονται μέσω της σειριακής επικοινωνίας από τον δέκτη GPS στο ρολόι πραγματικού χρόνου
digitToByte	Χρησιμοποιείται για να μετατρέψει έναν χαρακτήρα σε byte
dec2bcd	Χρησιμοποιείται για να μετατρέψει έναν δεκαδικό χαρακτήρα σε δυαδικό

Πίνακας 2.5 Συναρτήσεις του λογισμικού του μικροελεγκτή που βρίσκεται στον αναμεταδότη και στον σταθμό δειγματοληψίας.

Το λογισμικό του κυκλώματος συγχρονισμού των αναμεταδοτών βρίσκεται στο παράρτημα ΙΙ.1.3





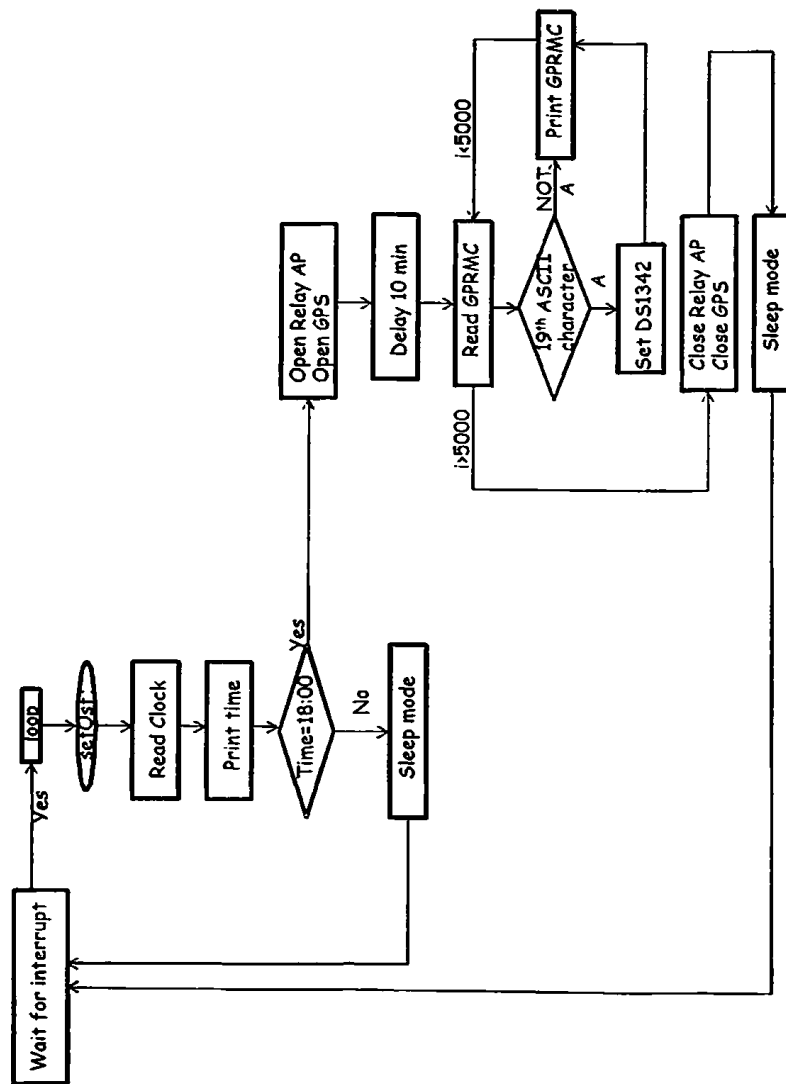
Εικόνα 2.34. Διάγραμμα ροής του προγράμματος που λειτουργεί στον μικροελεγκτή που ελέγχει την τάση τροφοδοσία του σταθμού δειγματοληψίας.

Στην εικόνα 2.34 φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος που λειτουργεί στον μικροελεγκτή που ελέγχει την τροφοδοσία του σταθμού δειγματοληψίας (Sampling Station,SS). Όταν φορτωθεί το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή καλείται η συνάρτηση setOsf η οποία δίνει τιμή στον



καταχωρητή του ρολογιού πραγματικού χρόνου ο οποίος είναι υπεύθυνος για τα Interrupt. Στη συνέχεια διαβάζεται η τιμή που έχει το ρολόι και στέλνεται στη σειριακή για έλεγχο. Ακολούθως ο μικροελεγκτής ελέγχει την ώρα από το ρολόι και αν η ώρα είναι 00:00 ή 06:00 ή 12:00 ανοίγει ο σταθμός δειγματοληψίας και το GPS. Αυτά παραμένουν ανοιχτά για 10 λεπτά, όσα δηλαδή αρκούν για να γίνει η συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων. Μετά εκτελείται ένας κύκλος στον οποίο διαβάζεται η ακολουθία ASCII χαρακτήρων του πρωτοκόλλου GPRMC από το GPS και αν ο δέκατος ένατος ASCII χαρακτήρας μετά το δολάριο είναι ο "A" σημαίνει ότι τα δεδομένα του GPS είναι σωστά και τότε στέλνεται η ώρα του GPS στο ρολόι πραγματικού χρόνου. Σε αντίθετη περίπτωση το ρολόι διατηρεί την προηγούμενη ώρα και ο μικροελεγκτής πέφτει σε κατάσταση ύπνου μέχρι να του έρθει το επόμενο Interrupt οπότε ξανά ξυπνάει και κάνει ακριβώς τους ίδιους ελέγχους. Αν η ώρα είναι 18:00 εκτός από τον σταθμό δειγματοληψίας και το GPS ανοίγει και το AP που βρίσκεται στο σταθμό δειγματοληψίας και στη συνέχεια στέλνονται τα δεδομένα στα Πανεπιστήμιο. Οι έλεγχοι που γίνονται από τον μικροελεγκτή για την ώρα είναι και σε αυτήν την περίπτωση ίδιοι όπως και πριν.





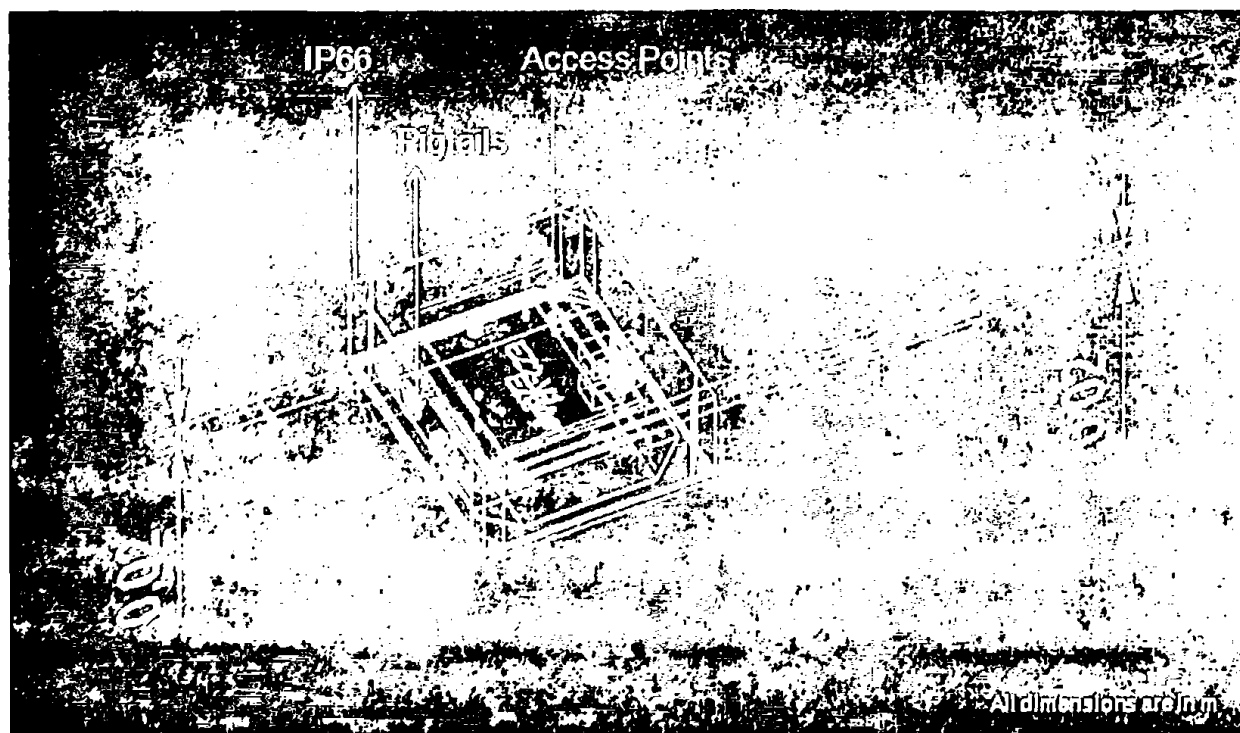
Εικόνα 2.35. Διάγραμμα ροής του προγράμματος που λειτουργεί στον μικροελεγκτή που ελέγχει την τάση τροφοδοσία των αναμεταδοτών.

Στην εικόνα 2.35 φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος που λειτουργεί στον μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό των αναμεταδοτών. Ο αναμεταδότης τίθεται σε λειτουργία στις 18:00. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αναμεταδότη ο μικροελεγκτής αρχικοποιεί τον καταχωρητή των interrupt, ενεργοποιεί για δέκα λεπτά τα AP της αναμετάδοσης, διαβάζει μέσω της σειριακής επικοινωνίας την ώρα UTC και αρχικοποιεί το ρολόι πραγματικού χρόνου.

3. Υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

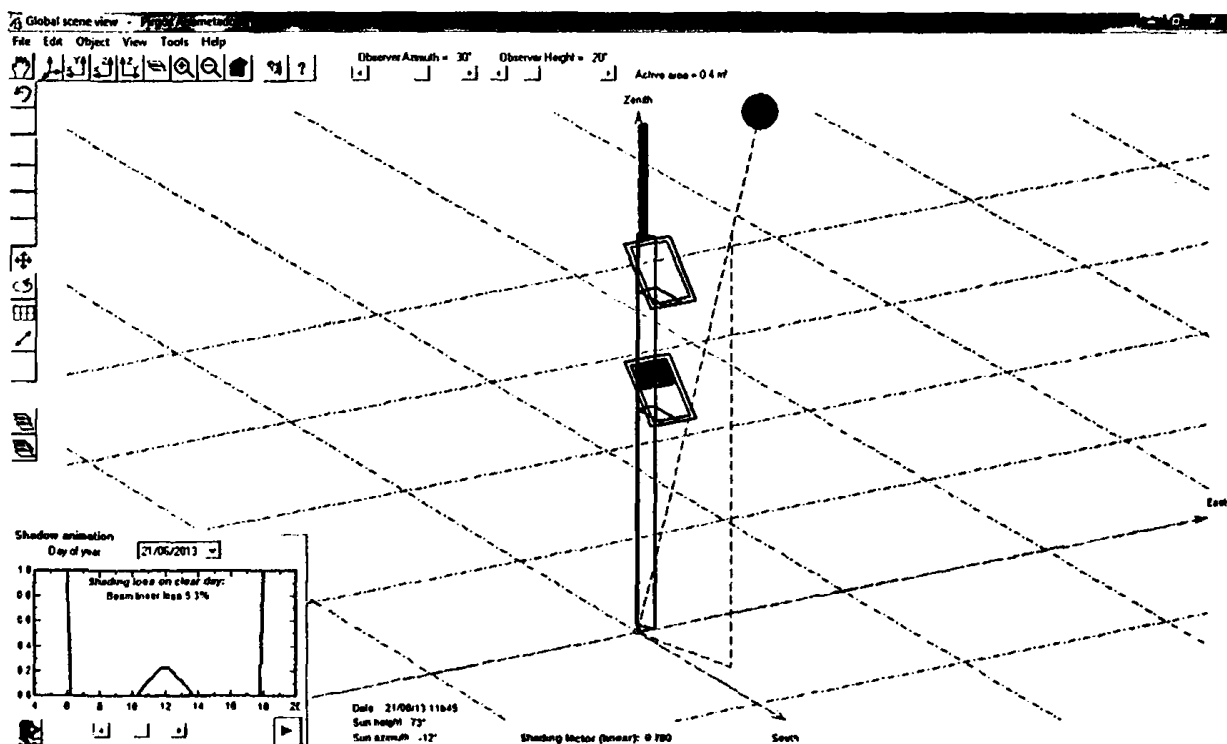
3.1 Υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης της πληροφορίας

Για την υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης της ψηφιακής πληροφορίας επιλέχθηκαν δύο σημεία τοποθέτησης των AP και των κεραιών μετάδοσης για να ελεγχθεί ο συγχρονισμός τους. Το ένα σημείο επιλέχθηκε να είναι η ταράτσα του πέμπτου ορόφου του κτηρίου Φ3 του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και το άλλο σε ταράτσα στην περιοχή Σεισμοπλήκτων Ιωαννίνων που έχει οπτική επαφή με το προηγούμενο σημείο. Στο πρώτο σημείο τοποθετήθηκε ένα κουτί με δύο AP και σε ένα άλλο κουτί οι υπερπυκνωτές και το σύστημα μέτρησης της τάσης τους. Τα δύο αυτά κουτιά τοποθετήθηκαν σε ένα στύλο πάνω στον οποίο τοποθετήθηκαν και τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Πριν την τοποθέτηση το σύστημα διαστασιολογήθηκε με τη χρήση της έκδοσης 2011 του σχεδιαστικού πακέτου AutoCAD 3D. Το κουτί του συστήματος, στο οποίο τοποθετούνται τα AP, όπως ειπώθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι μεταλλικό για την προστασία έναντι κεραυνικών πληγμάτων και ακολουθεί προδιαγραφή IP66 [49]. Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το σχέδιο του κουτιού και η προσομοίωση των AP μέσα σε αυτό.

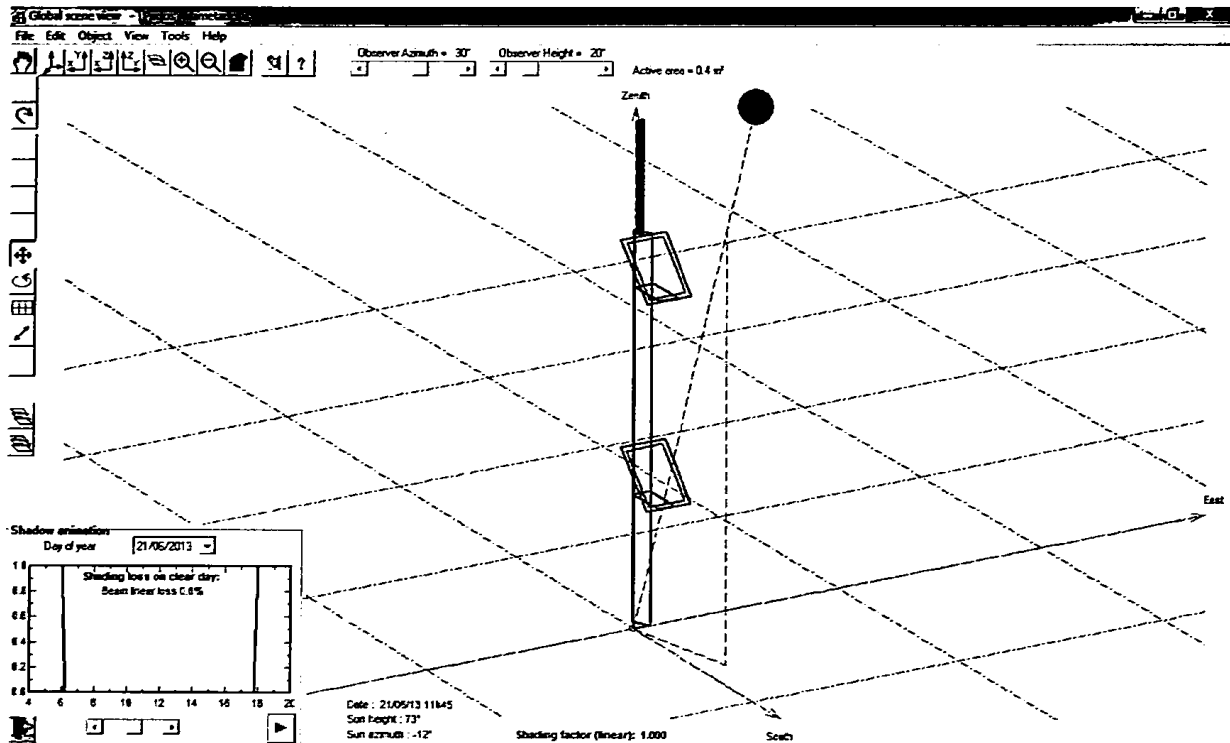


Εικόνα 3.1 Διαστασιολόγηση κουτιού IP66.

Με βάση την κατανάλωση των δυο AP (5,5 W το καθένα), για να καλυφθεί και η περίπτωση των απωλειών ενέργειας στα υπόλοιπα ηλεκτρονικά του συστήματος αλλά και η περίπτωση μη καλών καιρικών συνθηκών (παρατεταμένη συννεφιά), επιλέχθηκε να τοποθετηθούν στον στύλο δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος 20W το καθένα. Για τη σωστή διαστασιολόγηση και κυρίως για την αποφυγή των σκιάσεων μεταξύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό προσομοίωσης σκιάσεων "PVSYST5" στο οποίο σχεδιάστηκε ο πύργος και μετά από διαρκείς προσομοιώσεις που έγιναν τον μήνα Δεκέμβριο και τον μήνα Ιούνιο (χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο αντίστοιχα), υπολογίστηκε ότι για να μην σκιάζεται το ένα στοιχείο από το άλλο πρέπει να τοποθετηθούν σε απόσταση 1.85 m. Στην εικόνες 3.2 και 3.3 παρουσιάζονται δύο προσομοιώσεις του συστήματος για τον μήνα Ιούνιο για διαφορετική απόσταση μεταξύ των στοιχείων την ίδια ώρα της ημέρας (11:45).

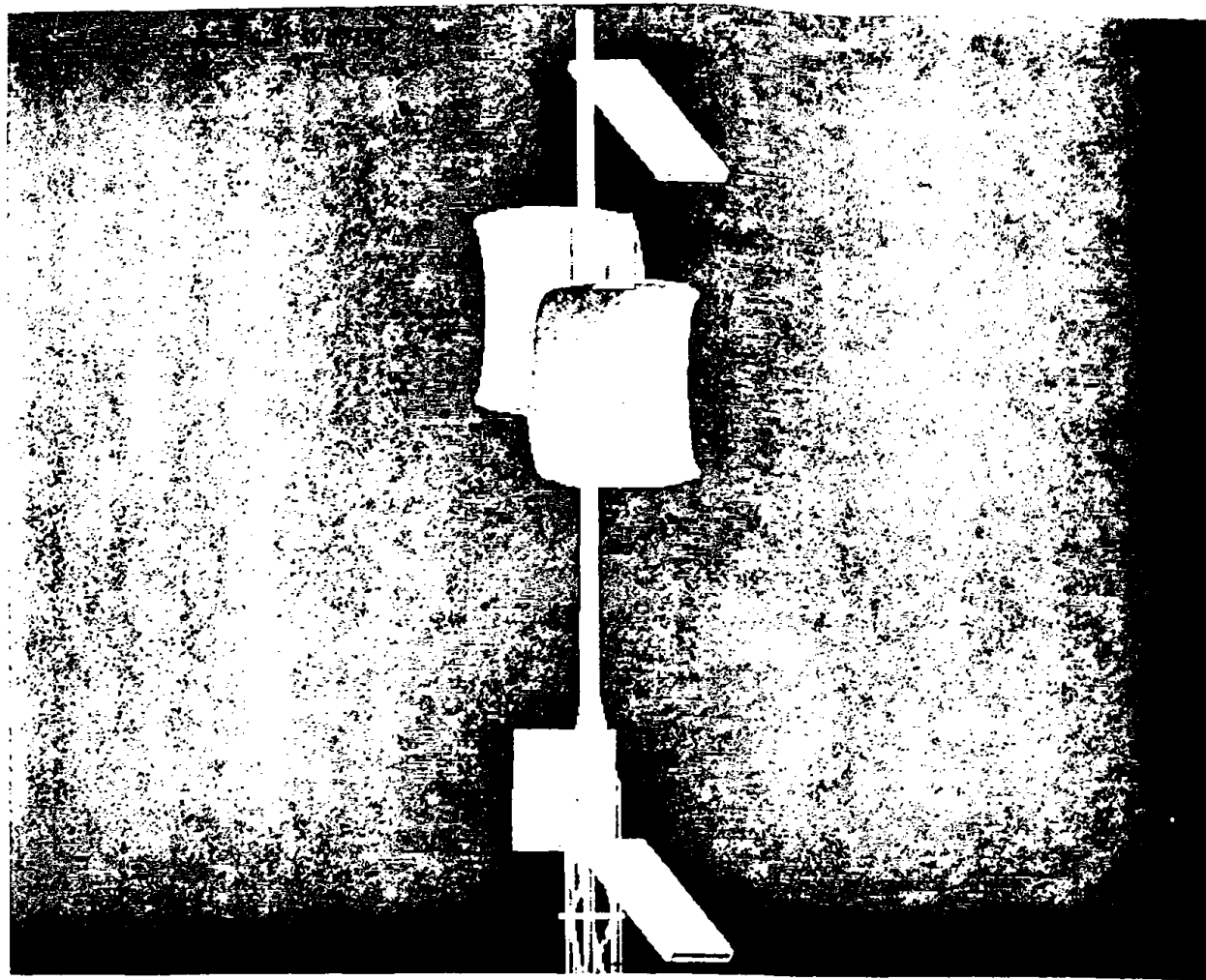


Εικόνα 3.2 Απόσταση στοιχείων 0.61 m κατά την οποία φαίνεται η σκίαση του ενός πλαισίου από το άλλο.



Εικόνα 3.3 Απόσταση στοιχείων 1.85 m κατά την οποία δεν υπάρχει σκίαση.

Στην εικόνα 3.2 φαίνεται η μια πιθανή θέση των δύο φωτοβολταϊκών στοιχείων στην οποία το ένα πλαίσιο σκιάζει το άλλο ενώ στην εικόνα 3.3 φαίνεται η θέση στην οποία δεν σκιάζονται. Αφού υπολογίστηκε η απόσταση μεταξύ των στοιχείων έγινε τέλος και η διαστασιολόγηση των υπολοίπων στοιχείων πάνω στον πύργο με το σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD, μέρος της οποίας παρουσιάζεται στην εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4 Τοποθέτηση όλων των στοιχείων του αναμεταδότη πάνω στον πύργο.

Το κουτί με τα AP επιλέχθηκε να τοποθετηθεί κοντά στις κεραίες για να μειωθούν οι απώλειες του σήματος λόγω μήκους του καλωδίου της κεραίας ενώ το κουτί με τους υπερπυκνωτές και το σύστημα χρονισμού επιλέχθηκε να τοποθετηθεί κοντά στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.



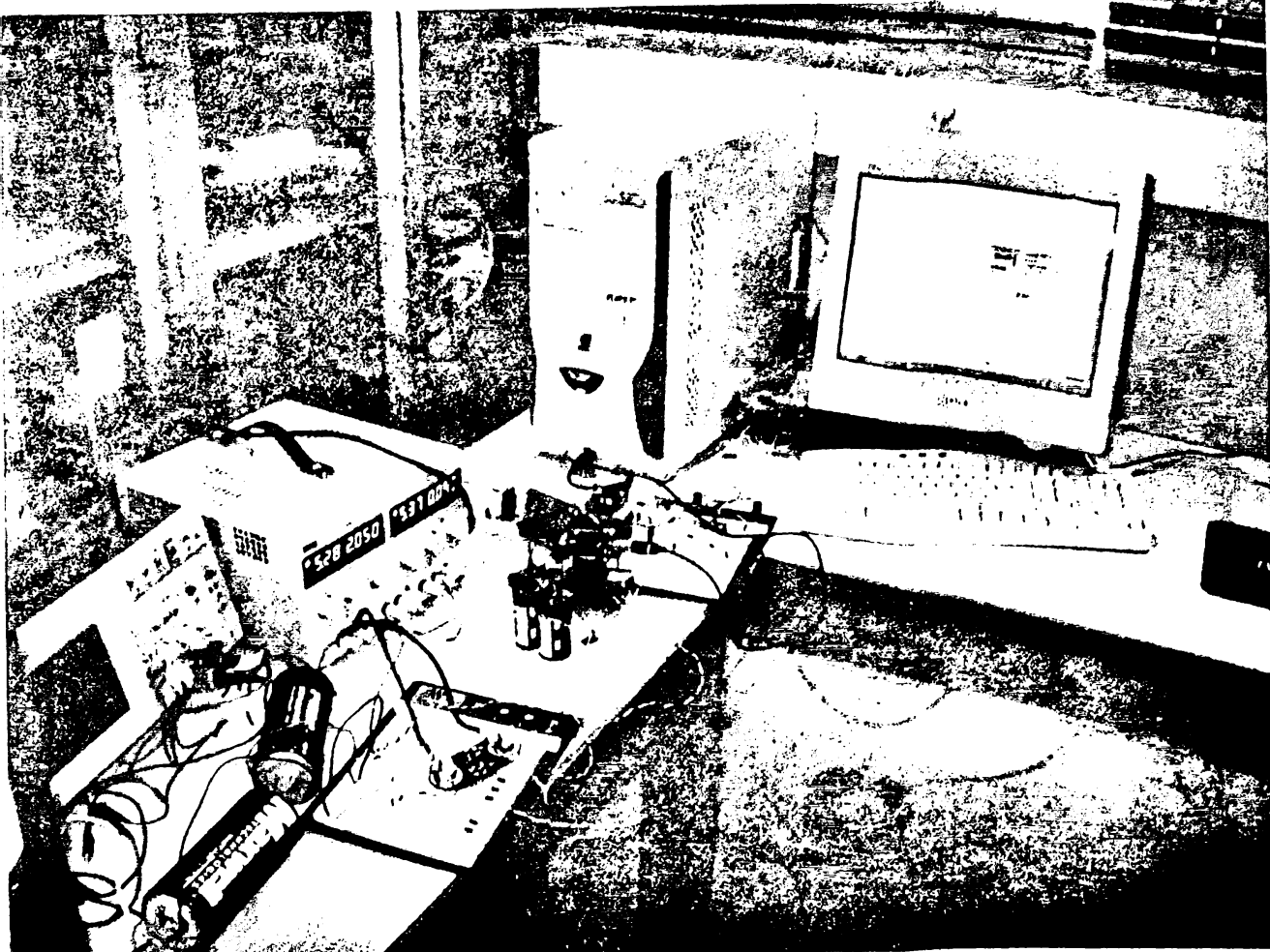
Εικόνα 3.5 Τοποθέτηση όλων των στοιχείων του σταθμού δειγματοληψίας πάνω στον πύργο.

Στην εικόνα 3.5 φαίνεται η τοποθέτηση των στοιχείων του σταθμού δειγματοληψίας πάνω στον πύργο. Στην εικόνα διακρίνεται το δοχείο συλλογής του νερού, το κουτί με τους υπερπυκνωτές για την τροφοδοσία των επιμέρους στοιχείων σταθμού δειγματοληψία, η κεραία που είναι στραμμένη προς τον πρώτο αναμεταδότη και η θέση των φωτοβολταϊκών στοιχείων ώστε να μην σκιάζονται.

3.2 Υλοποίηση του μετρητικού συστήματος

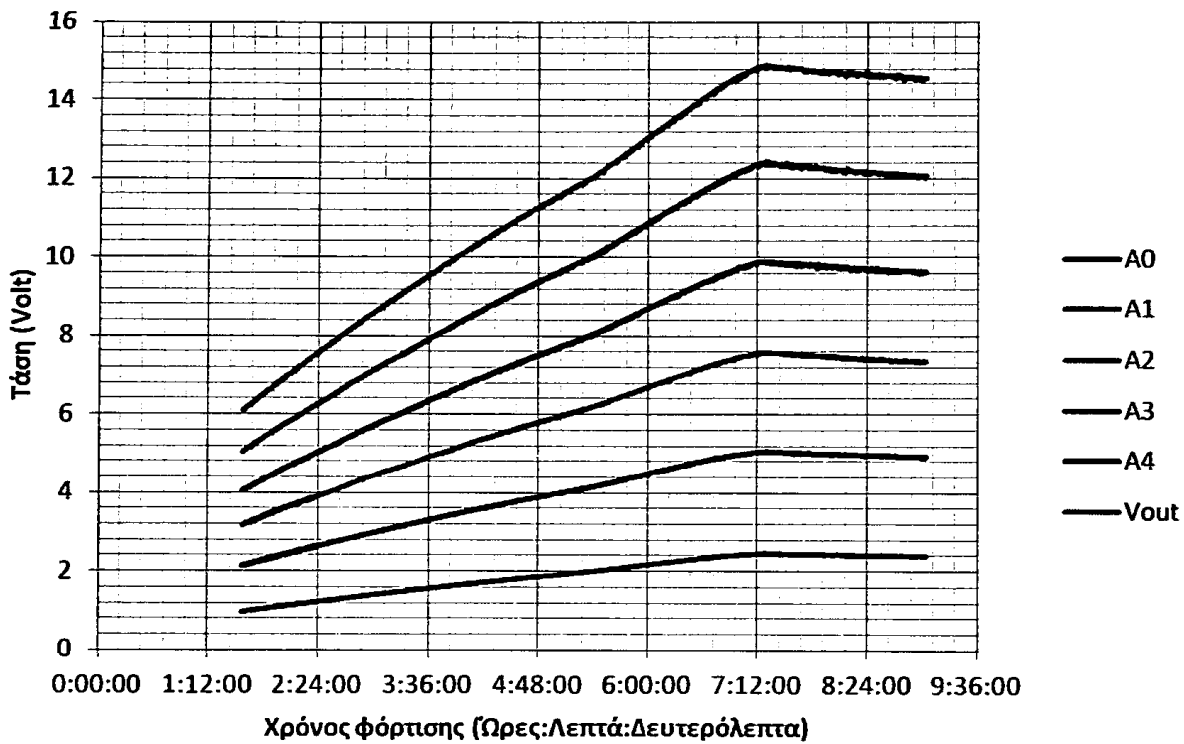
Για την κατασκευή του μετρητικού συστήματος χρησιμοποιήθηκε το κύκλωμα που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.1.1 σε συνδυασμό με το κύκλωμα Arduino Uno της εταιρίας Arduino με ενσωματωμένο τον μικροελεγκτή Atmega328P. Στην εικόνα 3.6 φαίνεται η συνδεσμολογία των οργάνων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



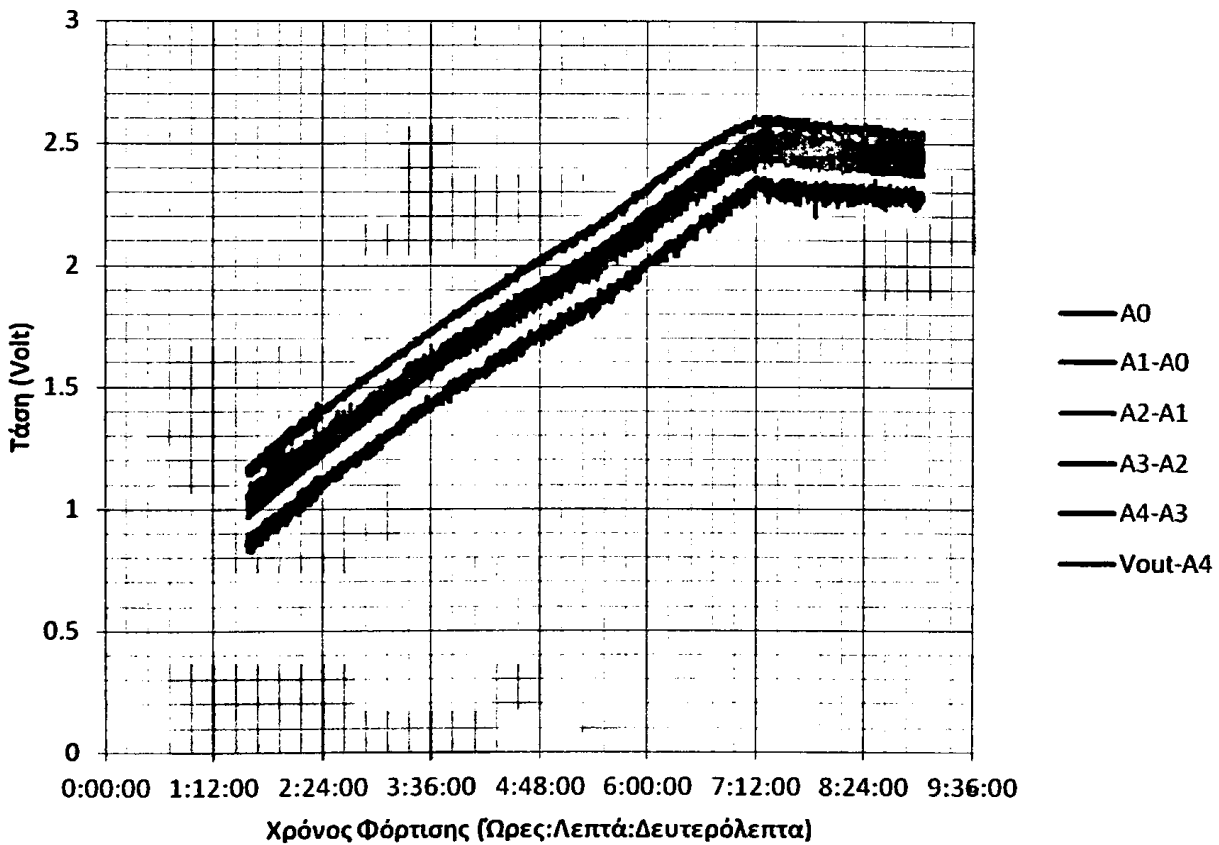


Εικόνα 3.6 Μέτρηση της τάσης στα άκρα των πυκνωτών.

Στην εικόνα 3.6 διακρίνονται πυκνωτές των 3000 F και πυκνωτές των 350 F στους οποίους έγιναν οι μετρήσεις, οι πλακέτες με τους μικροελεγκτές, η πλακέτα με τους τελεστικούς και τα κυκλώματα φόρτισης-εξισορρόπησης που μελετήθηκαν. Στις εικόνες 3.7 και 3.8 φαίνεται η μέτρηση της στοίβας των υπερπυκνωτών που έγινε για να ελεγχθεί ο τρόπος που γίνεται η εξισορρόπηση.



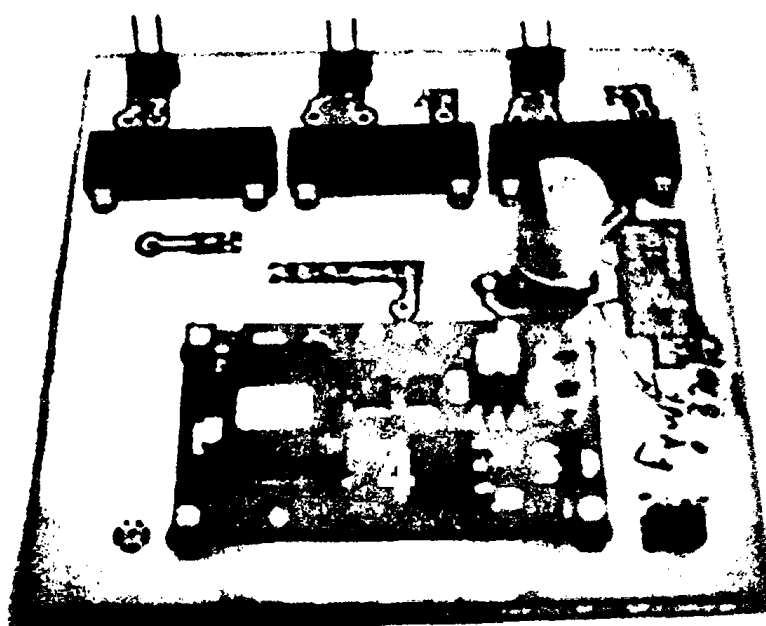
Εικόνα 3.7 Μέτρηση της τάσης στα άκρα των πυκνωτών της στοίβας ως προς τη γείωση.



Εικόνα 3.8 Μέτρηση της τάσης στα άκρα του κάθε πυκνωτή.

3.3 Υλοποίηση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας

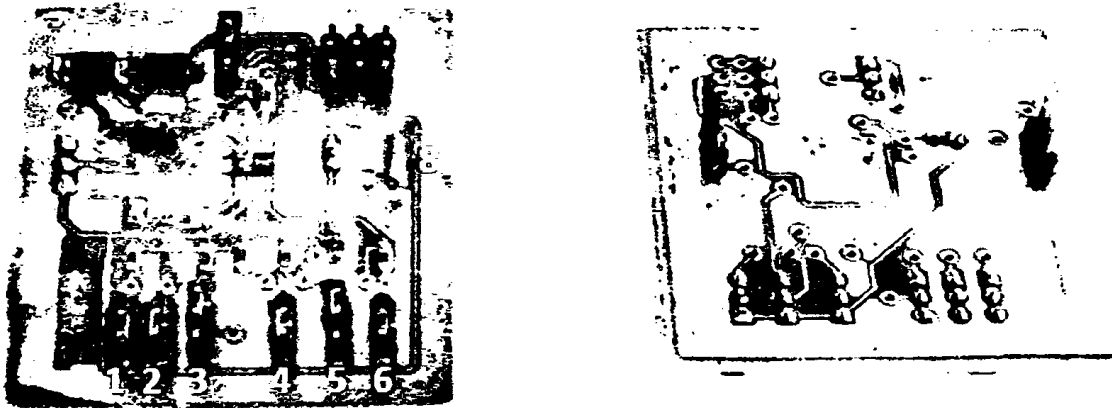
Για την υλοποίηση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας αρχικά κατασκευάστηκε το σύστημα μετατροπής της τάσης εισόδου από μια μη σταθερή τάση λόγω των καιρικών συνθηκών (σύννεφα, υγρασία κ.α.) σε μια σταθερή τάση 5 Volt στην οποία λειτουργούν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που κάνουν την φόρτιση και εξισορρόπηση των υπερπυκνωτών. Στην εικόνα 3.9 παρουσιάζεται το κύκλωμα μετατροπής της τάσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε τάση 5 Volt για την τροφοδοσία των μετατροπέων απομόνωσης DC-DC οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω στην ίδια πλακέτα.



Εικόνα 3.9. Κύκλωμα σταθεροποίησης της τάσης και τροφοδοσίας των DC-DC μετατροπέων απομόνωσης.

Το στοιχείο 4 στην εικόνα 3.9 είναι ο προγραμματιζόμενος διακοπτικός σταθεροποιητής τάσης PTN78020 της εταιρίας Texas Instruments ενώ τα ολοκληρωμένα κυκλώματα 1,2,3 είναι οι μετατροπείς απομόνωσης DC-DC DCPO20505 της ίδιας εταιρίας. Τα υπόλοιπα στοιχεία που φαίνονται στην πλακέτα είναι κάποια ενεργητικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ορθή λειτουργία του συστήματος αυτού και μπορεί κανείς να βρει τις τιμές τους καθώς και τα σχέδια τους στο παράρτημα. Τέλος οι ακροδέκτες που φαίνονται στο πάνω μέρος της εικόνας τροφοδοτούν την επόμενη βαθμίδα.

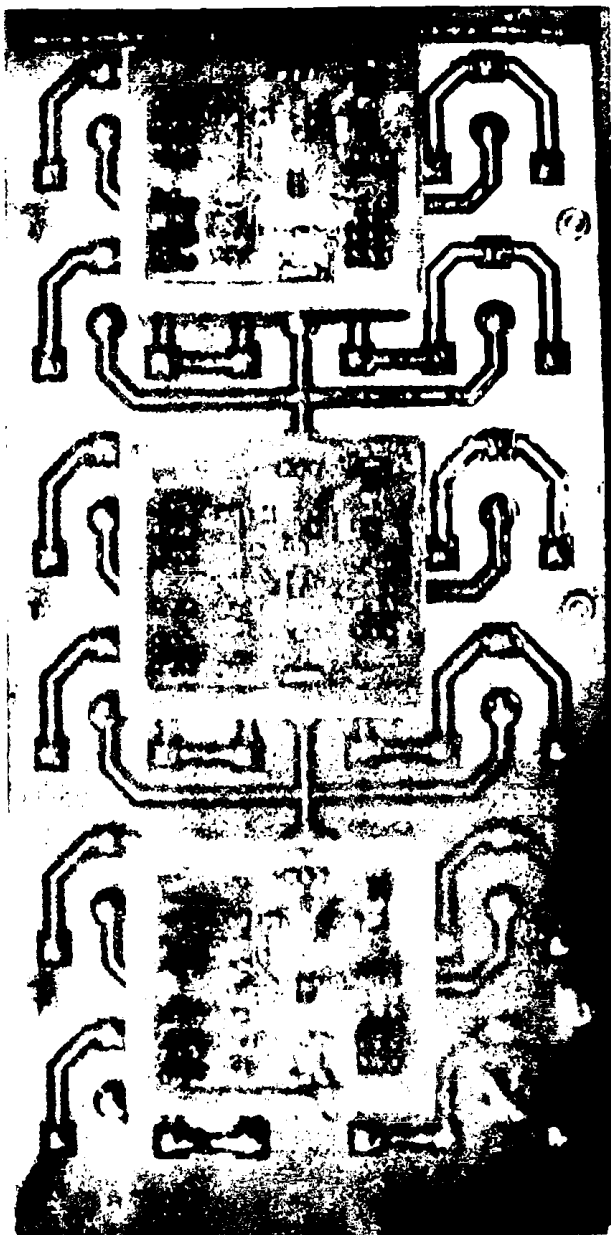
Στην εικόνα 3.10 φαίνονται οι δύο όψεις του κυκλώματος φόρτισης με εξισορρόπηση. Κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1 τρία τέτοια κυκλώματα.



Εικόνα 3.10. Πλακέτα φόρτισης με εξισορρόπηση.

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1.3 οι φορτιστές είναι προγραμματιζόμενου ρεύματος φόρτισης ανάλογα με την τιμή των αντιστάσεων R_8, R_9 και R_{10} που είναι συνδεδεμένες στον ακροδέκτη R_{prog} του LTC4425 και συνδέονται με το υπόλοιπο κύκλωμα μέσω των Jumper 1,2 και 3 αντίστοιχα όπως φαίνεται στην εικόνα 3.9 και χρησιμοποιούνται για να μπορεί ο χρήστης ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες του συστήματος να προγραμματίζει το ρεύμα φόρτισης. Τα τρία Jumper που διακρίνονται στην κάτω δεξιά μεριά του πάνω επιπέδου της πλακέτας χρησιμοποιούνται ως έλεγχοι της πλακέτας και το καθένα έχει τον δικό του σκοπό. Το Jumper 6 χρησιμοποιείται για να θέσει σε λειτουργία ή να διακόψει τη λειτουργία του κυκλώματος φόρτισης (EN ακροδέκτης), το 5 χρησιμοποιείται για να θέσει σε λειτουργία ή να διακόψει τη λειτουργία του διαιρέτη τάσης στην έξοδο (FB ακροδέκτης), ενώ το 4 χρησιμοποιείται για να καθορίσει την μέγιστη τάση που θα έχουν στα άκρα τους ο κάθε πυκνωτής (SEL ακροδέκτης). Επίσης υπάρχει το Jumper 7 το οποίο φαίνεται στη πάνω μεριά της εικόνας και το οποίο χρησιμοποιείται για να μπορεί να θέσει εκτός της λυχνία προειδοποίησης της φόρτισης αν αυτό κρίνεται απαραίτητο για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας ενώ οι ακροδέκτες (headers) που βρίσκονται αριστερά της εικόνας δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη αλλά τοποθετήθηκαν εκεί για να μπορεί να μετριέται η τάση στα άκρα των πυκνωτών. Τέλος η τροφοδοσία του κυκλώματος από τους μετατροπείς τάσεως DC-DC γίνεται από τους δύο ακροδέκτες που φαίνονται στο κέντρο της εικόνας δίπλα από το ολοκληρωμένο κύκλωμα. Τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος, παθητικά ή ενεργητικά αναφέρονται στο παράρτημα I.1.4.

Στην εικόνα 3.11 φαίνονται οι τρεις πλακέτες που ήδη αναφέρθηκαν επί της πλακέτας συνδεσμολογίας των υπερπυκνωτών. Η πλακέτα που σχεδιάστηκε για την συνδεσμολογία των πυκνωτών βρίσκεται στο παράρτημα Γ.1.3 ενώ δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ανάλυση. Απλά έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί κανείς να τοποθετήσει σε αυτήν σε σειρά έξι ομάδες τριών παράλληλων πυκνωτών χωρητικότητας 350 F.



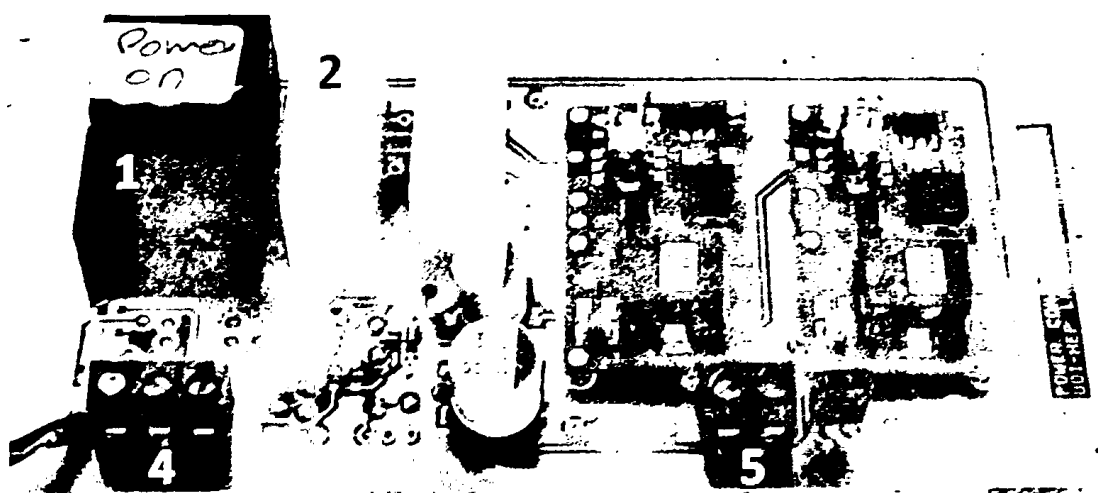
Εικόνα 3.11 Κυκλώματα φόρτισης μαζί με τους υπερπυκνωτές

Προσοχή όμως χρειάζεται στην τοποθέτηση των κυκλωμάτων φόρτισης πάνω στην στοίβα. Πρέπει να τοποθετηθούν όπως ακριβώς παρουσιάζεται στην εικόνα γιατί αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν λόγω βραχυκυκλωμάτων. Οι ακροδέκτες που στην εικόνα 3.10 έχουν την ένδειξη 8 και φαίνονται σαν μια ενιαία γραμμή από καλάνι αποτελούν την γείωση κάθε

πλακέτας φόρτισης και πρέπει να ταιριάζουν με τους ακροδέκτες των αρνητικών πόλων της κάθε δυάδας από τις τρεις που είναι συνδεδεμένες σε σειρά για να δημιουργήσουν μια εξάδα από πυκνωτές συνδεδεμένους σε σειρά.

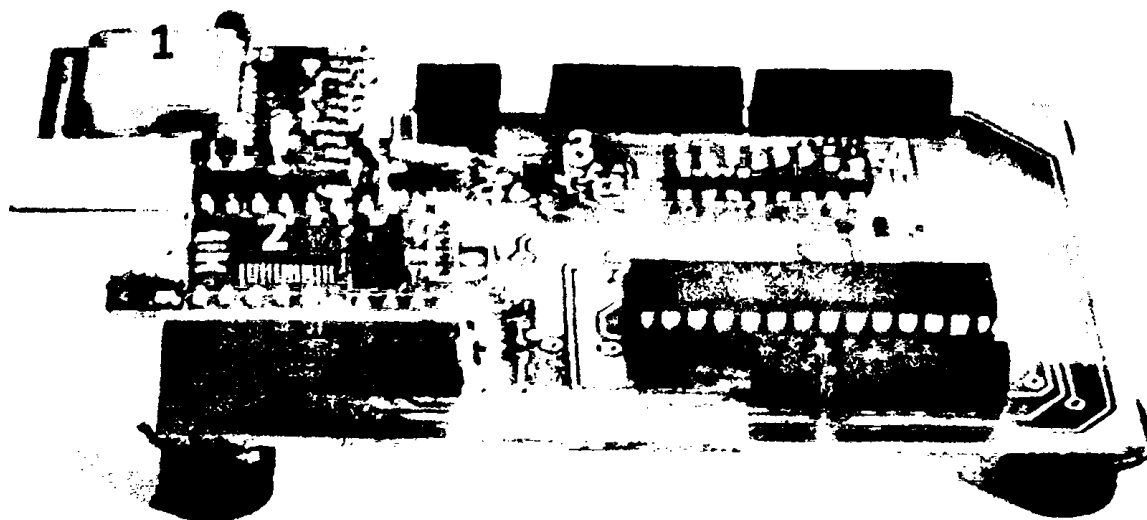
3.4 Υλοποίηση του κυκλώματος συγχρονισμού των αναμεταδοτών

Για τον συγχρονισμό των αναμεταδοτών κατασκευάστηκε το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.1.4 και το κύκλωμα της περιοδικής λειτουργίας του αναμεταδότη με τη χρήση ρολογιού πραγματικού χρόνου και μικροελεγκτή που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.1.5. Στην εικόνα 3.12 φαίνεται το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου.



Εικόνα 3.12. Κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου.

Οι δύο ακροδέκτες με μαύρο χρώμα με τον αριθμό 1 είναι οι ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία του AP και του σταθμού δειγματοληψίας μέσω του Ethernet καλωδίου. Τα δύο άσπρα στοιχεία με την ένδειξη 2 είναι τα Relay και οι δύο πράσινες πλακέτες με την ένδειξη 3 είναι οι διακοπτικοί σταθεροποιητές. Η τροφοδοσία του σταθεροποιητή των 12 Volt γίνεται από τον ακροδέκτη με την ένδειξη 4 ενώ η τροφοδοσία του σταθεροποιητή των 5 Volt γίνεται από τον ακροδέκτη με την ένδειξη 5. Το κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου συνδέεται με το κύκλωμα περιοδικής λειτουργίας με τη χρήση ρολογιού πραγματικού χρόνου και μικροελεγκτή το οποίο φαίνεται στην εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13. Κύκλωμα περιοδικής λειτουργίας με τη χρήση ρολογιού πραγματικού χρόνου και μικροελεγκτή.

Το κύκλωμα με την ένδειξη 1 στην εικόνα είναι ο δέκτης GPS που χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του ρολογιού πραγματικού χρόνου. Το κύκλωμα με την ένδειξη 2 είναι το κύκλωμα μετατροπής του σήματος από το πρωτόκολλο USB στο σειριακό πρωτόκολλο και χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή. Το κύκλωμα με την ένδειξη 3 στο σχήμα είναι το ρολόι πραγματικού χρόνου ενώ με την ένδειξη 4 είναι οι διακόπτες που χρησιμοποιούνται για τη ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των διαφόρων στοιχείων του κυκλώματος. Το στοιχείο με τη ένδειξη 5 είναι ο διακόπτης που χρησιμοποιείται για να κάνει επανεκκίνηση στον μικροελεγκτή και το στοιχείο με τον αριθμό 6 είναι ο μικροελεγκτής Atmega328P. Για τον έλεγχο το συγχρονισμού των αναμεταδοτών κατασκευάστηκαν δύο τέτοια κυκλώματα. Ένα τοποθετήθηκε στο ασύρματο σημείο πρόσβασης της περιοχής Σεισμοπλήκτων Ιωαννίνων και το άλλο στο ασύρματο σημείο πρόσβασης που τοποθετήθηκε στο τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

4. Παραμετροποίηση - αποτίμηση του συστήματος

4.1 Ρύθμιση παραμέτρων

Τα AP που χρησιμοποιήθηκαν για τη αναμετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας είναι της εταιρίας E-ZY.net και το μοντέλο είναι το EZ2_v1 [50]. Επειδή οι διευθύνσεις του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων είναι στατικές ενώ το δίκτυο διακίνησης δεδομένων είναι τοπικό LAN στην είσοδο της πρίζας που δίνει την στατική διεύθυνση έχει παρεμβληθεί ένας δρομολογητής ευρυζωνικού δικτύου (Wide Area Network Router, WAN Router) ο οποίος έχει ρυθμιστεί ώστε να δίνει διευθύνσεις στα AP. Αυτή η τοπολογία έχει το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιώντας διαφορετική θύρα επικοινωνίας σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας που βρίσκεται στο ποτάμι, και προωθώντας τη θύρα αυτή από τον WAN δρομολογητή στη διεύθυνση IP που την χρησιμοποιεί τότε με μία μόνο στατική διεύθυνση και τη χρήση της εκάστοτε θύρας ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί κάθε φορά με διαφορετικό σταθμό δειγματοληψίας. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται η αρχική σελίδα διαχείρισης του δρομολογητή WAN που δείχνει την κατάσταση λειτουργίας στην οποία είναι ρυθμισμένο.

The screenshot shows the TP-LINK Cable/DSL Router management interface. The top header includes the TP-LINK logo and the text 'Cable/DSL Router'. The main content area is divided into several sections:

- Router Status:** Displays firmware and hardware versions. Firmware Version: 3.5.1 Build 070321 Rel 50377ra. Hardware Version: R450v3 100122EB.
- LAN:** Displays LAN configuration. MAC Address: C0-19-E0-FF-16-3E. IP Address: 192.168.192.20. Subnet Mask: 255.255.255.0.
- WAN:** Displays WAN configuration. MAC Address: C0-19-E0-FF-16-3F. IP Address: 195.130.115.70 (Static IP). Subnet Mask: 255.255.255.0. Default Gateway: 195.130.115.200. DNS Server: 195.130.120.110, 195.130.120.123.
- Traffic Statistics:** A table with columns for Received and Sent traffic.
- Router Status Help:** Provides detailed information about the status page, LAN, and WAN configurations.

The left sidebar contains a navigation menu with options like Status, Basic Settings, Quick Setup, Network, Advanced Settings, DHCP, Forwarding, Security, Static Routing, IP & MAC Binding, Dynamic DNS, Status Monitor, and System Tools.

Εικόνα 4.1 Γενική παρουσίαση των ρυθμίσεων του WAN δρομολογητή.

Στο μενού LAN καταχωρείται η τοπική διεύθυνση που έχει ο δρομολογητής, η MAC διεύθυνσή του καθώς και η μάσκα υποδικτύου. Στο μενού WAN καταχωρούνται οι ρυθμίσεις της στατικής διεύθυνσης της πρίζας στην οποία είναι συνδεδεμένος ο WAN δρομολογητής. Επομένως για τον κόσμο εκτός του δικτύου το σύστημά έχει την στατική διεύθυνση 195.130.115.70 ενώ για τους εντός δικτύου οι διευθύνσεις που δίνονται από τον δρομολογητή έχουν τα τρία πρώτα νούμερα του IP ίδια με την τοπική διεύθυνση του δρομολογητή (192.168.192.). Ο τελευταίος αριθμός αλλάζει από το 50 έως το 100. Το εύρος αυτό μπορεί να το αλλαχθεί από το μενού DHCP Settings, ενώ η διεύθυνση που θα έχει ο δρομολογητής μπορεί να αλλαχθεί από το μενού LAN όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.

TP-LINK Cable/DSL Router

Cable/DSL Router
Model No. TL-R460

LAN

MAC Address: 00-19-E0-FF-16-3E
IP Address: 192.168.192.20
Subnet Mask: 255.255.255.0

Save

LAN Help
You can configure the IP parameters of LAN on this page

- **MAC Address** - The physical address of the router, as seen from the LAN. The value can't be changed.
- **IP Address** - Enter the IP address of your router in dotted-decimal notation (factory default: 192.168.1.1)
- **Subnet Mask** - An address code that determines the size of the network. Normally 255.255.255.0 is used as the subnet mask.

Note

1. If you change the IP address of LAN, you must use the new IP address to login the router.
2. If the new LAN IP address you set is not in the same subnet, the IP Address pool in the DHCP server will not take effect, until they are re-configured.
3. If the new LAN IP address you set is not in the same subnet, the Virtual Server and DMZ Host will change accordingly at the same time.

Click the Save button to save your settings

Εικόνα 4.2. Καθορισμός της διεύθυνσης του δρομολογητή στο τοπικό LAN.

Τα AP που βρίσκονται στο τοπικό δίκτυο και αναμεταδίδουν τα δεδομένα έχουν καθορισμένες διευθύνσεις για να τις γνωρίζει ο χειριστής του δικτύου που θέλει να έχει πρόσβαση και δυνατότητα αλλαγής των παραμέτρων του. Επίσης καθορισμένη διεύθυνση έχει και ο υπολογιστής στον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα και την οποία του τη δίνει και πάλι ο WAN δρομολογητής. Την δυνατότητα αυτή την παρέχει το πρωτόκολλο DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) και συγκεκριμένα στο μενού DHCP -> Address Reservation όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.3. Ο χρήστης πρέπει

απλά να πληκτρολογήσει την MAC διεύθυνση της συσκευής που συνδέεται στο δίκτυο και την IP διεύθυνσή που θέλει να έχει. Τα AP έχουν ρυθμιστεί σαν πελάτες DHCP διευθύνσεων και παίρνουν της διευθύνσεις τους από τον WAN δρομολογητή.

TP-LINK Cable/DSL Router

Cable DSL Router
Model No. TL-R450

Address Reservation

ID	MAC Address	Reserved IP Address	Status	Modify
1	00-E0-4D-09-F1-23	192.168.192.60	Enabled	Modify Delete
2	00-1E-33-42-19-7A	192.168.192.61	Enabled	Modify Delete
3	00-13-F7-CB-3E-9D	192.168.192.62	Enabled	Modify Delete
4	00-11-7C-CA-7E-42	192.168.192.50	Enabled	Modify Delete
5	00-11-7C-CC-23-05	192.168.192.51	Enabled	Modify Delete
6	00-11-7C-CA-33-92	192.168.192.53	Enabled	Modify Delete
7	00-13-8F-FE-33-B1	192.168.192.63	Enabled	Modify Delete
8	00-4A-8B-CC-05-02	192.168.192.54	Enabled	Modify Delete

[Add New](#) [Enable All](#) [Disable All](#) [Delete All](#)

[Previous](#) [Next](#)

Address Reservation Help

When you specify a reserved IP address for a PC on the LAN, that PC will always receive the same IP address each time when it accesses the DHCP server. Reserved IP addresses should be assigned to servers that require permanent IP settings.

MAC Address - The MAC Address of the PC that you want to reserve IP address for.

Reserved IP Address - The IP address of the router reserved.

To Reserve IP Addresses:

1. Enter the MAC Address (The format for the MAC Address is XX-XX-XX-XX-XX-XX) and the IP address in dotted-decimal notation of the computer you wish to add.
2. Click the Save button when finished.

To modify a Reserved IP Address:

1. Select the reserved address entry as you desire, modify it. If you wish to delete the entry, make all of the entry fields blank.
2. Click the Save button.

Click the Next button to go to the next page, or click the Previous button return to the previous page.

Note: The function won't take effect until the router reboots.

Εικόνα 4.3. Μενού καθορισμού των διευθύνσεων σύμφωνα με της MAC διευθύνσεων.

Με την διαδικασία που προαναφέρθηκε έχουν καθοριστεί πλήρως στον δρομολογητή οι διευθύνσεις που έχουν τα AP και οι σταθμοί δειγματοληψίας σύμφωνα με τις MAC διευθύνσεις τους. Αν ο χρήστης από τον έξω κόσμο θέλει να συνδεθεί σε κάποιον σταθμό δειγματοληψίας απευθείας έχει τη δυνατότητα να το κάνει, προωθώντας τη θύρα που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε σταθμός από το δρομολογητή προς την διεύθυνση IP του σταθμού. Ο συγκεκριμένος δρομολογητής παρέχει αυτή τη δυνατότητα μέσω του μενού "Forwarding" όπως φαίνεται στη εικόνα 4.4.

Cable DSL Router
Model No. TL-R460

Virtual Servers

ID	Service Port	IP Address	Protocol	Status	Modify
1	80	192.168.192.53	ALL	Enabled	Modify Delete
2	6977	192.168.192.62	ALL	Enabled	Modify Delete
3	3391	192.168.192.62	ALL	Enabled	Modify Delete
4	81	192.168.192.54	ALL	Enabled	Modify Delete

Virtual Servers Help

Virtual servers can be used for setting up public services on your LAN. A virtual server is defined as a service port, and all requests from Internet to this service port will be redirected to the computer specified by the server IP. Any PC that was used for a virtual server must have a static or reserved IP address because its IP address may change when using the DHCP function.

- **Service Port** - The numbers of External Ports. You can enter a service port or a range of service ports (the format is XXX-YYY, XXX is Start port, YYY is End port).
- **IP Address** - The IP address of the PC running the service application.
- **Protocol** - The protocol used for this application, either TCP, UDP, or All (all protocols supported by the router).
- **Status** - The status of this entry. "Enabled" means the virtual server entry is enabled.
- **Common Service Port** - Some common services already exist in the pull-down list.

To setup a virtual server entry

1. Click the Add New... button.
2. Select the service you want to use from the Common Service Port list. If the Common Service Port menu does not list the service that you want to use, enter the number of the service port or service port range in the Service Port box.
3. Enter the IP address of the computer in the Server IP address box.
4. Select the protocol is used for this application, either TCP, UDP, or All.
5. Select the Enabled in the Status pull-down list.
6. Click the Save button.

Note: It is possible that you have a computer or server that has multiple...

Εικόνα 4.4 Πρώθηση θύρας στο δρομολογητή.

Επομένως ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τη σελίδα ενός σταθμού δειγματοληψίας ηλεκτρολογώντας στον φυλλομετρητή την στατική διεύθυνση και στην συνέχεια άνω κάτω τελεία και την θύρα στην οποία έχει προγραμματίσει τον μικροελεγκτή. Για μεγαλύτερη ασφάλεια στο δίκτυο μπορούν στο δρομολογητή να εισαχθούν κωδικοί ασφαλείας ώστε να μην επιτρέπεται η δημόσια διαχείριση της ιστοσελίδας. Ο πιο ασφαλής τρόπος διαχείρισης είναι να παρεμβληθεί μεταξύ της πρίζας και του τοπικού δικτύου ένας υπολογιστής με δύο κάρτες δικτύου, μία για το τοπικό δίκτυο και μια για την στατική διεύθυνση που συνδέει το τοπικό δίκτυο με τον έξω κόσμο. Αυτό όμως απαιτεί πιο ακριβό εξοπλισμό και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Στην εικόνα 4.5 φαίνεται η αρχική ιστοσελίδα του AP που δείχνει τις βασικές ρυθμίσεις που έχουν γίνει στο AP.

Switch to Simple WEB

- Status
- [-] Wireless
- [-] Ethernet
- [-] Mesh Networking
- [-] Management
- [-] System
- [-] Wizard
- [-] Logout

System		IP Settings	
System Time	2-2-2013 19:40	Attain IP Protocol	Fixed IP
Uptime	0day 7h 20m 41s	IP Address	192.168.192.53
Load Average	0.00 0.00 0.00	Subnet Mask	255.255.255.0
Free Memory	6512 kB	Default Gateway	192.168.192.20
Firmware Version	1.39_06.29 (Jun 29 2009)	DHCP Server	Disabled
Webpage Version	149_G8.31 (Aug 31 2010)	MAC Address	00:11:7C:0A:83:92
Boot Version	1.5.2zynet	Port Status	<input checked="" type="checkbox"/> Connected 100Mbps
Wireless Version	v3.1 (Nov 4 2006)	Throughput	Tx:136 B/s Rx:125 B/s
Hardware Version	v2		
Logged in as	Admin		
System Name	EZ3+		
System Location	Somewhere		
System Contact	Somewhere		
Wireless Configuration			
Mode	AP - Bridge		
Band	2.4 GHz (B+G)		
SSID	R3		
Channel Number	11		
Encryption	WPA		
BSSID	00:11:7C:0A:83:92		
Associated Clients	0		
Power(OFDMA/G)	20dBm - 100mW		
Power(CCK/B)	24dBm - 250mW		

Refresh

Show Wireless Clients

Εικόνα 4.5. Κατάσταση των ρυθμίσεων του AP

Στο κεντρικό μενού System, το υπομενού System time αναφέρεται στη ρύθμιση της ώρας στο AP. Η ρύθμιση έγινε από το μενού Management -> Time. Στο ίδιο μενού αναγράφεται το όνομα χρήστη με το οποίο έχει γίνει σύνδεση στο AP (Logged in as). Τα επόμενα τρία υπομενού είναι σημαντικά μόνο για να γνωρίζει ο χρήστης σε πιο σημείο είναι τοποθετημένο το AP και η διαχείρισή τους γίνεται από το μενού System -> Location. Το επόμενο κεντρικό μενού που φαίνεται στην εικόνα 4.5 είναι το μενού Wireless Configuration και είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι δείχνει της ρυθμίσεις που έχουν γίνει στο AP για να γίνει εφικτή μια σωστή επικοινωνία. Στο υπομενού Mode του μενού Wireless Configuration φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί το AP. Εδώ έχει ρυθμιστεί σαν AP, ενώ το μενού από το οποίο γίνεται η συγκεκριμένη ρύθμιση είναι το Wireless -> Basic Settings που φαίνεται και στην εικόνα 4.6.

[Switch to Simple WEB](#)

Status

Wireless

- Basic Settings
- Advanced Settings
- Security Settings
- Access Control
- Site Survey

Ethernet

Mesh Networking

Management

System

- Settings
- Location
- Ping Watchdog
- Firmware Upgrade
- Save/Reload Settings
- Custom File Handle
- Passwords
- Reboot

Wizard

Logout

Band	2.4 GHz (B+G)	
Mode	AP	
Network Type	Infrastructure	
SSID	R3	Site Survey
BSSID	00 00 00 00 00 00	
Channel Number	11 - 2462	
Enable Mac Clone	<input type="checkbox"/>	
Disable Wireless	<input checked="" type="checkbox"/>	
Enable Repeater	<input type="checkbox"/>	
Repeater SSID		
Repeater BSSID	00 00 00 00 00 00	

[Apply Changes](#) [Reset](#)

[Refresh](#)

Εικόνα 4.6. Βασικές ρυθμίσεις ασύρματης επικοινωνίας.

Στο μενού *Mode* της εικόνας 4.6 υπάρχουν και άλλες επιλογές αλλά αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο δίκτυο είναι το *AP* και το *Client*. Σε δύο απέναντι αναμεταδότες ο ένας ορίστηκε σαν *AP* και ο άλλος σαν *Client*. Ακριβώς πάνω από το μενού *Mode* είναι το μενού που δείχνει τη συχνότητα της εκπομπής και το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Το συγκεκριμένο *AP* δίνει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ των πρωτοκόλλων 802.11b και 802.11g αλλά και των δύο ταυτόχρονα αλλά μόνο στη συχνότητα των 2.4 GHz. Παρακάτω υπάρχει η επιλογή *SSID* στην οποία έχει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς οι δύο απέναντι αναμεταδότες θα πρέπει να εκπέμπουν το ίδιο *SSID*. Αυτό που είναι επίσης σημαντικό σε αυτό τα μενού είναι το κανάλι στο οποίο γίνεται η επικοινωνία που καθορίζεται από το μενού *Channel Number* και όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο είναι σημαντικό μεταξύ δύο συνεχόμενων ζεύξεων η εκπομπή να γίνεται σε διαφορετικό κανάλι για να μην υπάρχει συμφόρηση της πληροφορίας σε ένα μόνο κανάλι. Στο μενού *Wireless Security Settings* γίνεται η επιλογή του πρωτοκόλλου αναγνώρισης χρήστη και κωδικοποίησης των δεδομένων όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο. Εδώ έχει επιλεγεί το πρωτόκολλο *WPA* (εικόνα 4.7) διότι υπερτερεί του *WEP* όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο και έχει τοποθετηθεί και ένα κλειδί. Όλοι οι αναμεταδότες που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο έχουν το ίδιο πρωτόκολλο ασφαλείας και το ίδιο κλειδί.

[Switch to Simple WEB](#)

Status

- Wireless
 - Basic Settings
 - Advanced Settings
 - Security Settings
 - Access Control
 - Site Survey
- Ethernet
- Mesh Networking
- Management
- System
 - Settings
 - Location
 - Ping Watchdog
 - Firmware Upgrade
 - Save/Reload Settings
 - Custom File Handle
 - Passwords
 - Reboot
 - Wizard
 - Logout

Encryption WPA (TKIP)

Use 802.1x Authentication WEP 64bits WEP 128bits

Enable MAC Authentication Enable WEP from Radius

WPA Authentication Mode Enterprise (RADIUS) Personal (Pre-Shared Key)

Pre-Shared Key Format Passphrase

Pre-Shared Key *****

Enable Pre-Authentication

Authentication RADIUS Server

Port

IP address

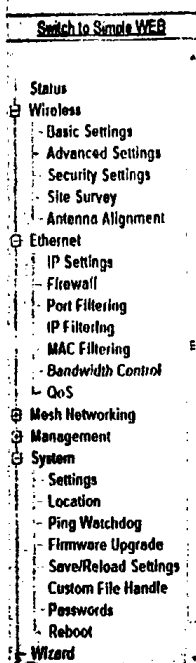
Password

Note: When encryption WEP is selected, you must set WEP key value.

Εικόνα 4.7. Επιλογή του πρωτοκόλλου ασφαλείας του δικτύου.

Όταν στις βασικές ρυθμίσεις του μενού Wireless Basic Settings που φαίνεται στην εικόνα 4.6 επιλεγθεί αντί για "AP" το "Client", στη λίστα των υπομενού του Wireless εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο με τίτλο Antenna Alignment στο οποίο φαίνεται η ισχύς της λήψης του σήματος.

Στο μενού Ethernet που φαίνεται στην εικόνα 4.8 και πιο συγκεκριμένα στο υπομενού IP Settings δηλώνεται η διεύθυνση του AP η είναι ίδια με αυτήν που έχει δηλωθεί στο μενού Address Reservation του δρομολογητή ενώ σαν προεπιλεγμένη πύλη έχει μπει η τοπική διεύθυνση που έχει ο δρομολογητής WAN. Στην περίπτωση απομακρυσμένων χειρισμών στο AP πρέπει να αλλάξει η θύρα στη οποία λειτουργεί η ιστοσελίδα διαχείρισης του AP και στην συνέχεια να προωθηθεί από τον δρομολογητή στην τοπική διεύθυνση που αντιστοιχεί στο AP. Για αλλαγή της θύρας στην οποία λειτουργεί η ιστοσελίδα διαχείρισης του AP πρέπει στο μενού System, υπομενού Settings να τεθεί στο HTTP PORT η κατάλληλη θύρα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.8. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγεί η θύρα 80 που είναι και η προεπιλεγμένη.



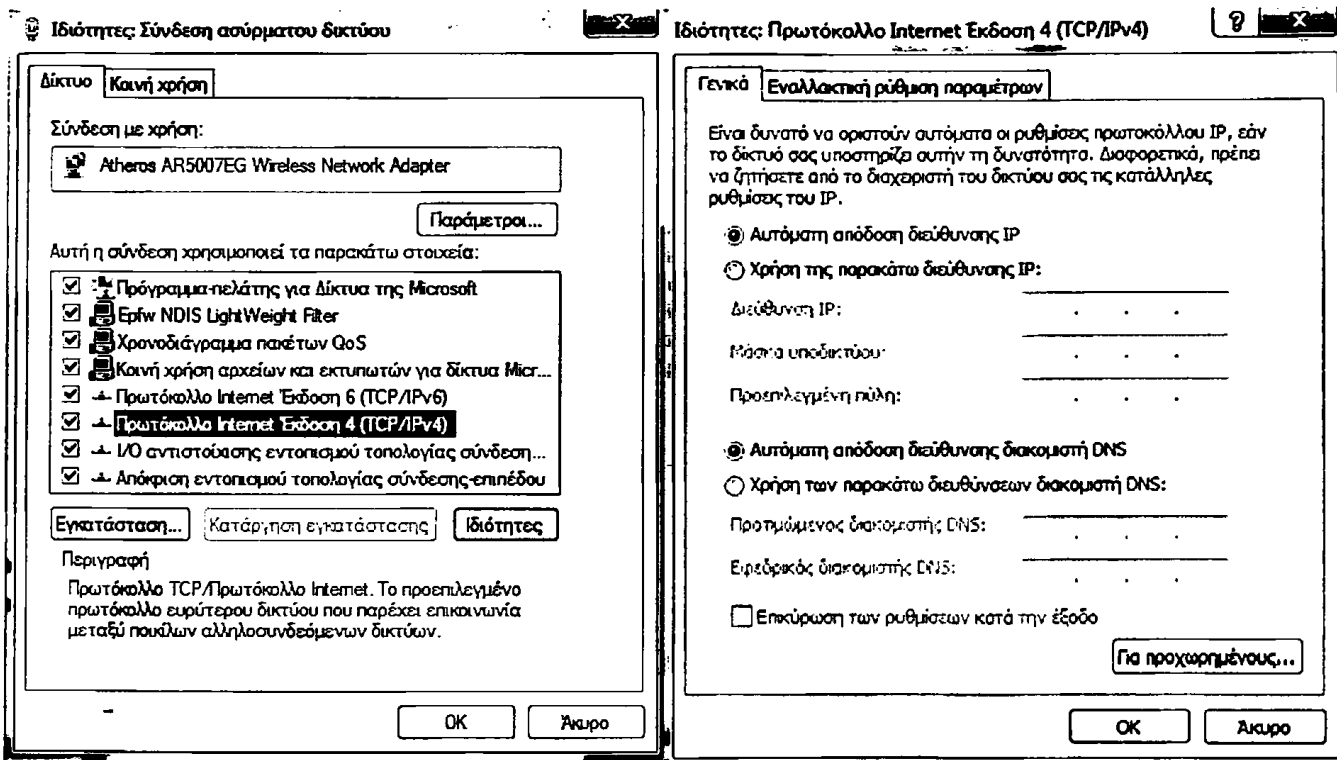
Miscellaneous Settings

Enable Simple Web Interface	<input type="checkbox"/>	
Enable Web Access	<input checked="" type="checkbox"/>	
Force HTTPS Web Access	<input type="checkbox"/>	
HTTP PORT	80	(1-65535, 0 Use Default (80))
HTTPS PORT	0	(1-65535, 0 Use Default (443))
Enable SSH Access	<input checked="" type="checkbox"/>	
SSH PORT	0	(1-65535, 0 Use Default (22))
Enable Telnet Access	<input checked="" type="checkbox"/>	
TELNET PORT	0	(1-65535, 0 Use Default (23))
Discovery Mode	On LAN-WAN	▼
Discovery Relay	<input type="checkbox"/>	
Ethernet Mode	Auto	▼
APPLY MODE	Apply & Save	▼
Graph Data	Enable on merr	▼

Apply Changes Reset

Εικόνα 4.8. Μενού προεπιλογής της θύρας.

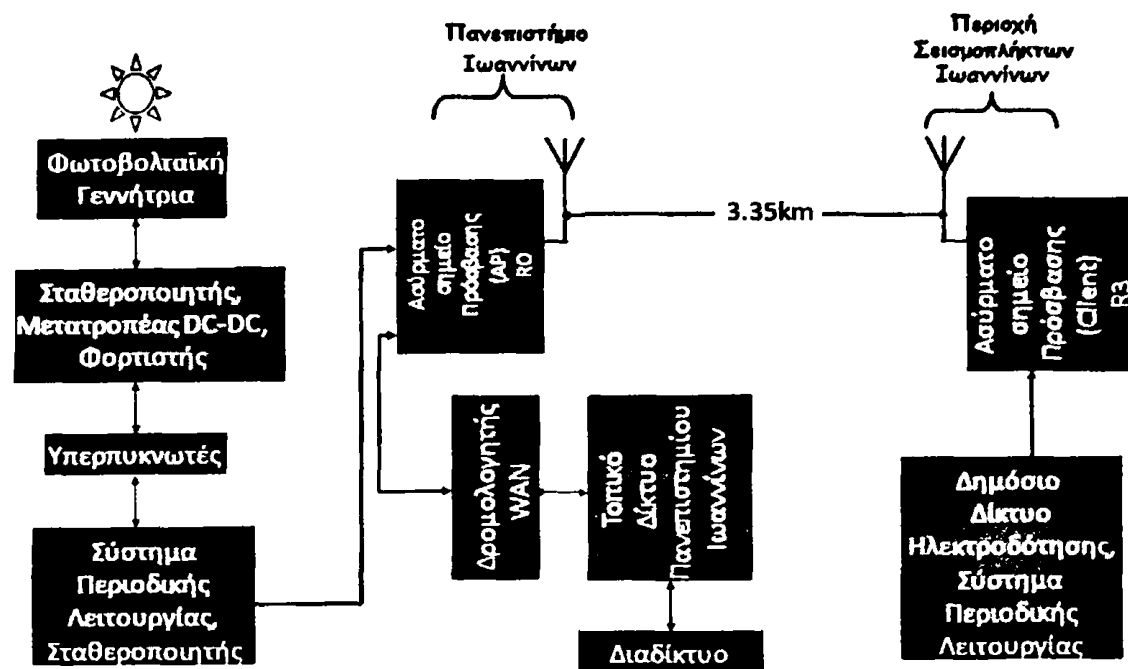
Τέλος για να πάρει και ο υπολογιστής στον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα αυτόματα IP από τον δρομολογητή WAN, στις ρυθμίσεις της κάρτας δικτύου που είναι συνδεδεμένη με τον δρομολογητή επιλέχθηκε στο μενού Πρωτόκολλο Internet Έκδοση 4 (TCP/IPv4) η επιλογή Αυτόματη απόδοση διεύθυνσης IP όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.9 ενώ ταυτόχρονα στο μενού Address Reservation του δρομολογητή WAN δηλώθηκε ότι η κάρτα με την συγκεκριμένη MAC Address θα πάρει συγκεκριμένη διεύθυνση IP.



Εικόνα 4.9 Ρύθμιση των παραμέτρων της κάρτας δικτύου του υπολογιστή στον οποίο γίνεται η αποθήκευση των δεδομένων.

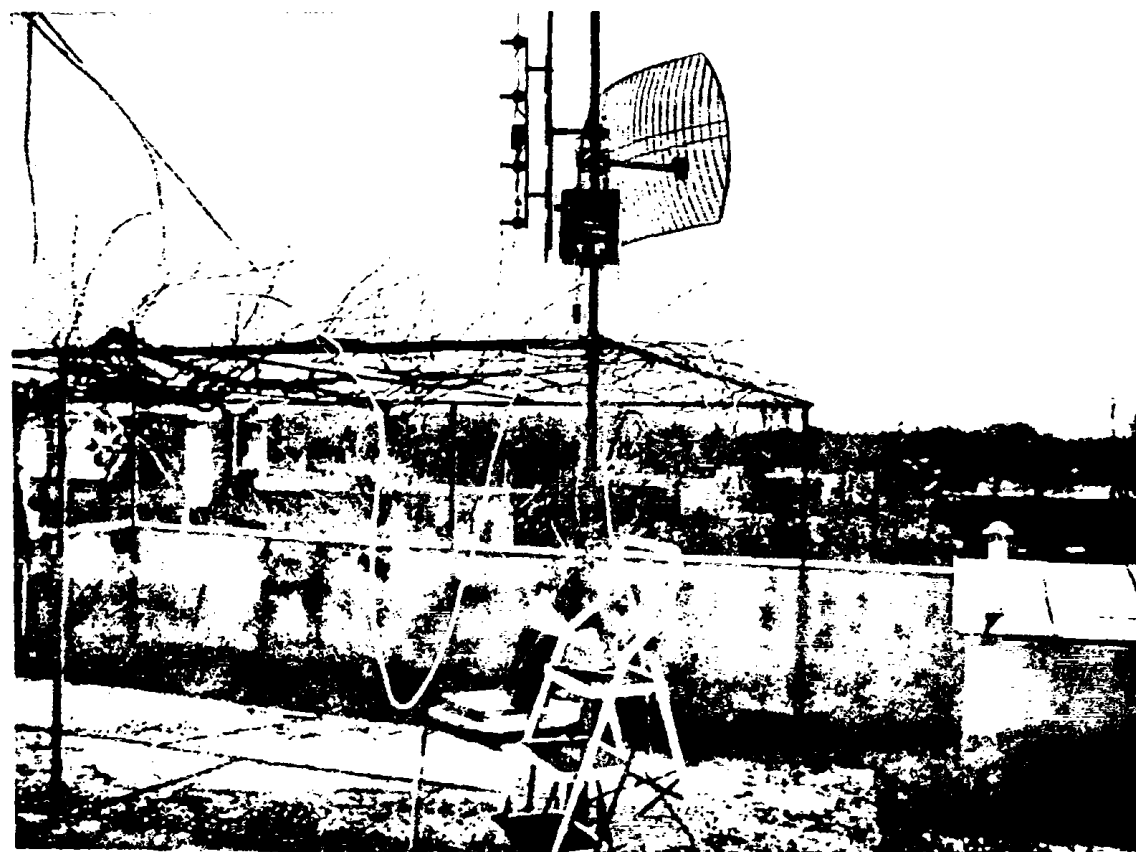
4.2 Αποτίμηση του συστήματος μετάδοσης

Για την αποτίμηση του συστήματος αναμετάδοσης τοποθετήθηκαν δύο AP, ένα στην τράπεζα του κτηρίου Φ3 του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και ένα στην περιοχή Σεισμόπληκτα Ιωαννίνων. Στην εικόνα 4.10 φαίνεται το γενικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας.



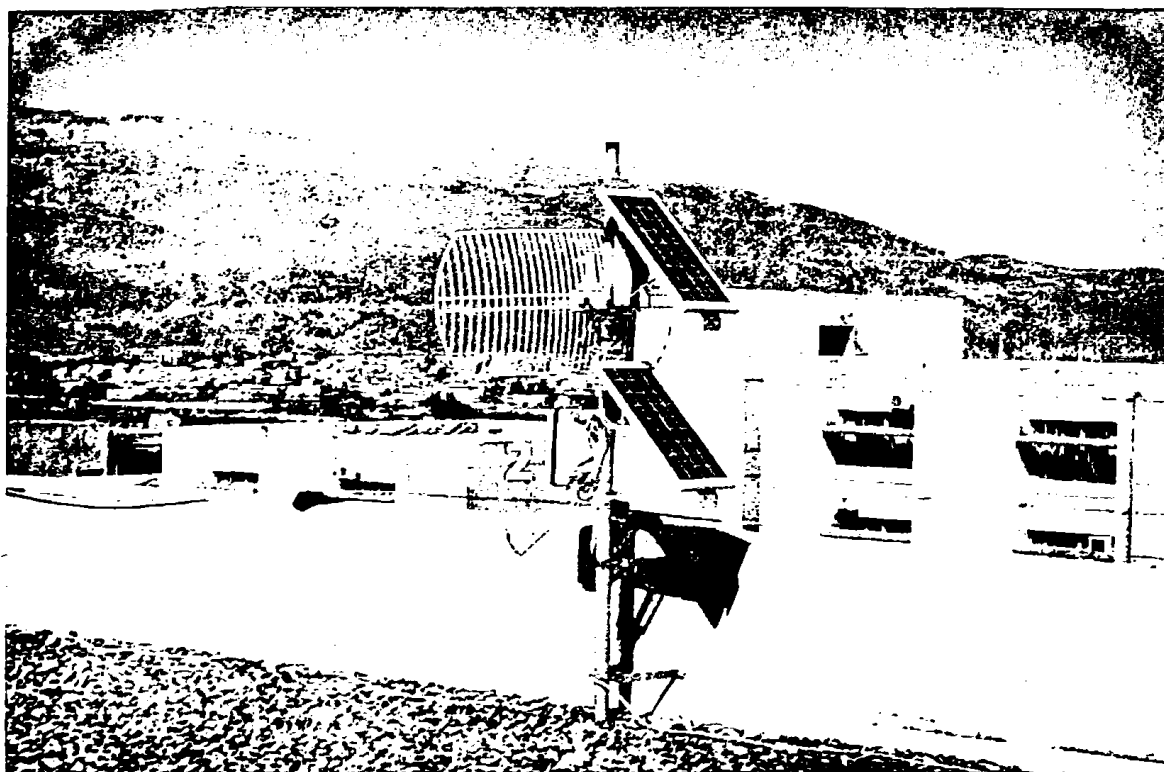
Εικόνα 4.10 Γενικό διάγραμμα του συστήματος αποτίμησης.

Στις εικόνες 4.11 και 4.12 φαίνεται η τοποθέτηση του συστήματος στη ταράτσα του σπιτιού στα Σεισμόπληκτα και στην ταράτσα του κτηρίου Φ3 αντίστοιχα.



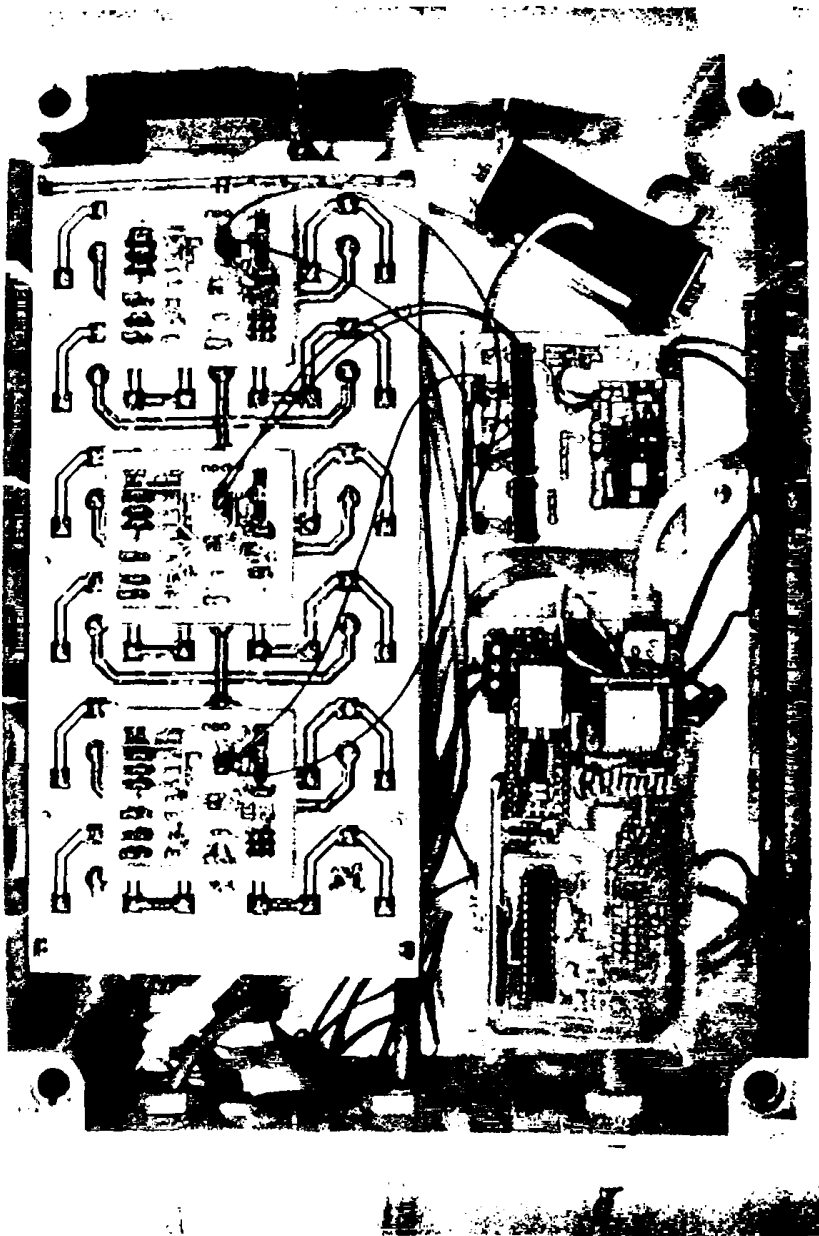
Εικόνα 4.11 AP στην ταράτσα κτηρίου στην περιοχή Σεισμόπληκτα.

Στο κουτί της εικόνας 4.11 τοποθετήθηκε ένα AP και ένα κύκλωμα χρονισμού για την περιοδική λειτουργία του συστήματος όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Η τροφοδοσία του συστήματος έγινε από την πρίζα του κτηρίου.



Εικόνα 4.12. Κατασκευή του στύλου αναμετάδοσης στη ταράτσα του Φ3

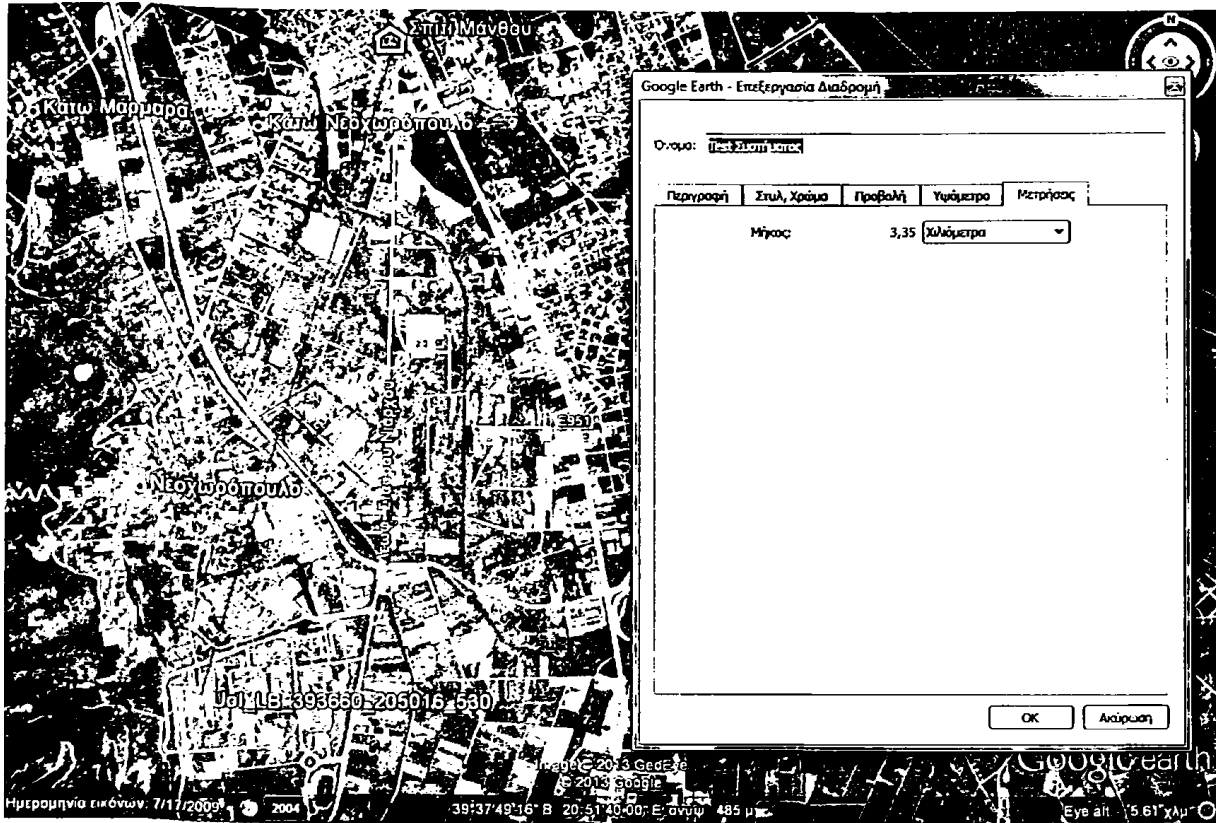
Στο κουτί 1 της εικόνας 4.12 τοποθετήθηκε ένα AP ενώ η τροφοδοσία του έγινε από το κουτί 2 στο οποίο τοποθετήθηκαν οι πυκνωτές και το σύστημα χρονισμού και το οποίο φαίνεται στην εικόνα 4.13. Το κουτί αυτό παίρνει τροφοδοσία από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία της εικόνας ενώ οι άλλοι δύο ακροδέκτες χρησιμοποιούνται ο ένας για την είσοδο της πληροφορίας, ο οποίος συνδέθηκε με έναν δρομολογητή που με τη σειρά του συνδέεται με το δίκτυο, και ο άλλος με το AP της ταράτσας δίνοντάς του τις πληροφορίες του δικτύου μαζί με την ενέργεια από τους πυκνωτές.



Εικόνα 4.13 Κουτί τροφοδοσίας του AP που βρίσκεται στη τάρτσα του Φ3

Η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών μετρήθηκε με το Google Earth στα 3.35 km και ένα στιγμιότυπο φαίνεται στην εικόνα 4.14 ενώ η ευθυγράμμιση των κεραιών έγινε με τη βοήθεια του τεχνικού του εργαστηρίου. Αφού ελέγχθηκε ότι η ισχύς του σήματος είναι μέσα στα αποδεκτά όρια ώστε να μπορεί να γίνει μια σωστή ζεύξη, στην συνέχεια έγινε έλεγχος του συστήματος συγχρονισμού των δύο AP από το σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένος ο δρομολογητής (Κτήριο Φ3).





Εικόνα 4.14 Μέτρηση απόστασης των δύο σημείων ελέγχου στο Google Earth.

Τα AP είναι δυο πλακέτες EZY V3 ενώ οι κεραίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο είναι δυο κατευθυντικές κεραίες τύπου Grid τα στοιχεία των οποίων καταγράφονται στους πιο κάτω πίνακες.

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά EZY V3	Τιμή
1	Συχνότητα λειτουργίας	2,4 GHz - 2,485 GHz
2	Ταχύτητα μετάδοσης στο 802.11b	11 / 5,5 / 2 / 1 Mbps
3	Ταχύτητα μετάδοσης στο 802.11g	54 / 48 / 36 / 24 / 12 / 9 / 6 Mbps
4	Ισχύς εκπομπής στο 802.11b	-86 +/- 2 dBm @ 11 Mbps
5	Ισχύς εκπομπής στο 802.11g	-76 +/- 2d Bm @ 54 Mbps
6	Ευαισθησία δεκτή στο 802.11b	250 mW @ 11 Mbit
7	Ευαισθησία δεκτή στο 802.11g	100 mW @ 54 Mbit
8	Τροφοδοσία	PoE 10 V - 48 V
9	Τύπος συνδέτη δεκτή	MMCX

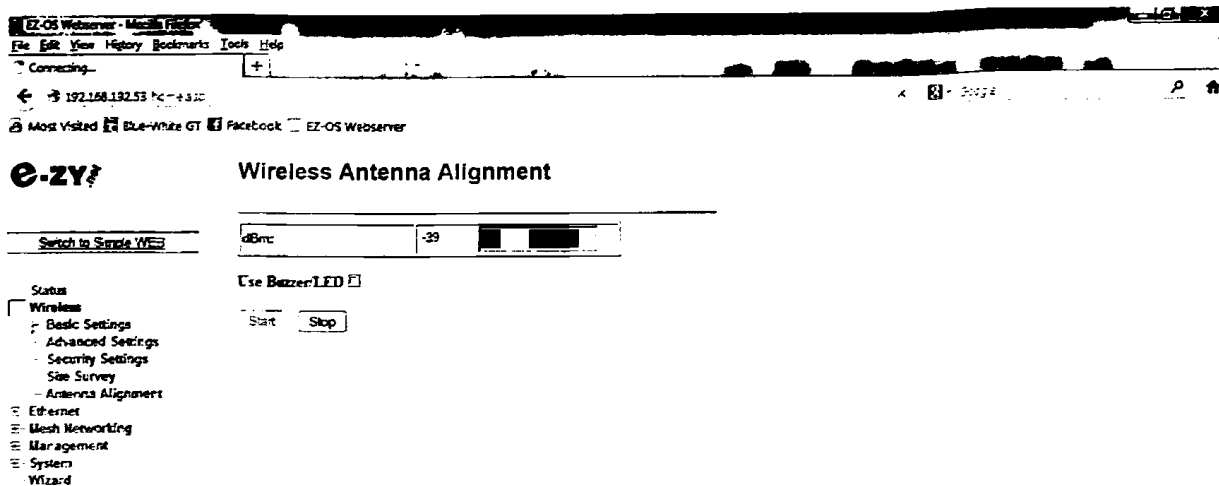
Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά των AP

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά EZ-GD24R24PNM	Τιμή
1	Συχνότητα λειτουργίας	2,4 GHz - 2,485 GHz
2	Εμπέδηση	50 Ohms
3	Απολαβή	24 dBi
4	VSWR	<1.5
5	Πόλωση	Κάθετη ή οριζόντια
6	Γωνία κάλυψης	Οριζόντια 10° Κάθετη 14°

Πίνακας 4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά κεραιών.

4.3 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη

Ο έλεγχος της ποιότητας της ασύρματης ζεύξης έγινε δύο διαφορετικές μέρες ώστε να ελεγχθεί και η επίδραση των καιρικών συνθηκών. Τη μια μέρα είχε ηλιοφάνεια ενώ την άλλη ο καιρός ήταν βροχερός. Ο συγχρονισμός των AP έγινε κανονικά στον προβλεπόμενο χρόνο αλλά και η επικοινωνία μεταξύ τους επιτεύχθηκε κανονικά καθώς η ισχύς του σήματος ήταν μέσα στα επιτρεπτά πλαίσια ασφαλούς ζεύξης. Στην εικόνα 4.15 φαίνεται ένα στιγμιότυπο μέτρησης της ισχύος του σήματος με τη χρήση του μενού Antenna Alignment που έχει το AP όταν βρίσκεται σε λειτουργία Client όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο.



Εικόνα 4.15. Στιγμιότυπο μέτρησης της ισχύος του σήματος της κεραίας.

Τα κέρδη των κεραιών και η εκπεμπόμενη ισχύς από τον πομπό είναι 24 dBi + 24 dBi + 24 dBm = 72 dB. Άρα στον δέκτη αναμενόταν η μέτρηση 72 dB - 110.55 dB = -38.55 dB. Στις απώλειες δεν έχουν υπολογιστεί οι απώλειες του καλωδίου της κεραίας καθώς λόγω του ότι το μήκος είναι μικρότερο από τα 30cm θεωρείται ότι δεν θα είναι μεγάλες. Έτσι το σήμα μας αναμενόταν να είναι περίπου στα -39 dBm που πράγματι ήταν.

Ημερομηνία μέτρησης	Κατάσταση Καιρού	Μέση τιμή ισχύος σήματος
15/02/2013	Αραιή συννεφιά	-42dBm
20/02/2013	Ηλιοφάνεια	-39dBm
21/02/2013	Βροχή	-43dBm

Πίνακας 4.3 Μετρήσεις ισχύος του σήματος του αναμεταδότη.

4.4 Απόδοση συστήματος αποθήκευση ενέργειας

Για να μετρηθεί η απόδοση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας υπολογίστηκε το πηλίκο της ενέργειας που αποθηκεύεται τελικά στους πυκνωτές προς την ενέργεια που παρέχεται από το τροφοδοτικό. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στους πυκνωτές υπολογίζεται όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο από τη σχέση:

$$E_c = \frac{1}{2} * C * (V_{max}^2 - V_{min}^2) \quad (1)$$

ενώ η ενέργεια που παρέχει το τροφοδοτικό δίνεται από τη σχέση $E_{TPO\Phi} = V_{TPO\Phi} * I_{TPO\Phi} * t$ όπου t είναι ο χρόνος τροφοδοσίας, $V_{TPO\Phi}$ η τάση του τροφοδοτικού και $I_{TPO\Phi}$ το ρεύμα που παρέχει το τροφοδοτικό. Στη συγκεκριμένη κατασκευή το ρεύμα φόρτισης έχει σταθερή τιμή ανάλογα με την τάση εισόδου. Στην σχέση (1) η χωρητικότητα των πυκνωτών είναι 175F αφού έχουν συνδεθεί έξι των 350F σε σειρά και στην συνέχεια τρεις τέτοιες σειρές παράλληλα.

$V_{TPO\Phi}$ (Volt)	$I_{TPO\Phi}$ (A)	V_{CTEL} (Volt)	σVct el	V_{CAPX} (Volt)	$\sigma Vcar$ x	Χρόνος (sec)	$E_{TPO\Phi}$ (Joule)	$E_{ΠΥΚΝ \pm 3}$ (Joule)	Απόδοση (%)	$\sigma Ef(\%)$
13	0.68	12.02	0.1	11.02	0.1	422	3730	2016	54	7.7
14	0.64	11.58	0.1	10.58	0.1	388	3476	1939	55.78	7.9
15	0.58	13.25	0.1	12.52	0.1	280	2436	1646	67.57	13.09
16	0.45	14.29	0.1	13.8	0.1	302	2174.4	1204.36	55.38	15.99
17	0.23	15.25	0.1	14.44	0.1	780	3049.8	2104.28	67	12.05

Πίνακας 4.4 Μετρήσεις απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας της παρούσας κατασκευής.

Η μέση τιμή των τιμών της απόδοσης του πίνακα 4.4 είναι 60.35% με σφάλμα μέσης τιμής $\pm 5.2\%$. Η χαμηλή απόδοση του συστήματος φόρτισης οφείλεται στο σύστημα τροφοδοσίας των φορτιστών. Σύμφωνα με το φυλλάδιο των τεχνικών προδιαγραφών για κάθε ένα από τα στοιχεία του κυκλώματος τροφοδοσίας των φορτιστών δίνεται και ο βαθμός απόδοσής του. Ο διακοπτικός σταθεροποιητής PTN78020W παρουσιάζει διάφορες τιμές απόδοσης ανάλογα με την τάση εισόδου του και το ρεύμα κατανάλωσης. Για τις τιμές της τάσης και του ρεύματος που μετρήθηκαν και καταγράφηκαν στον πίνακα 4.4 η απόδοση του σταθεροποιητή είναι περίπου 77%. Η απόδοση του μετατροπέα DC-DC DCP020505 που χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση είναι σύμφωνα με το φυλλάδιο τεχνικών προδιαγραφών 80%. Η συνολική απόδοση που προκύπτει από το γινόμενο των δύο αποδόσεων είναι



61% και είναι πολύ στην απόδοση που προέκυψε από τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια της φόρτισης.

Η απόδοση του συστήματος φόρτισης-εξισορρόπησης «Capacitor Kits 5 BUS BARS+BALANCE BOARDS, BOLTS/WSHRS" που αναφέρεται στο κεφάλαιο 2.1.3 μετρήθηκε από τις τιμές της γραφικής παράστασης της εικόνας 2.25 που έγιναν για δύο πυκνωτές των 3000 F σε σειρά και επομένως η συνολική χωρητικότητα στα άκρα τους είναι 1500 F. Για τον υπολογισμό της παρεχόμενης ενέργειας από το τροφοδοτικό έγινε εισαγωγή των τιμών στο πρόγραμμα Origin και υπολογίστηκε το ολοκλήρωμα της συνάρτησης $V(t)$ στα άκρα των πυκνωτών για δύο τιμές της τάσης κατά τη διάρκεια της φόρτισης των πυκνωτών. Η τιμή αυτού του ολοκληρώματος πολλαπλασιαζόμενη με το σταθερό ρεύμα του τροφοδοτικού δίνει την παρεχόμενη ενέργεια $E_{\text{ΤΡΟΦ}}$. Έγιναν τέσσερα σετ μετρήσεων για τέσσερις διαφορετικές τιμές ρεύματος τροφοδοσίας. Στον πίνακα 4.5 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

$I_{\text{ΤΡΟΦ}}$ (A)	$V_{\text{CΤΕΛ}}$ (Volt)	$V_{\text{CΑΡΧ}}$ (Volt)	t(sec)	$E_{\text{ΤΡΟΦ}}$ (Joule)	$\sigma E_{\text{ΤΡΟΦ}}$	$E_{\text{ΠΥΚΝ}} \pm$ (Joule)	Απόδοση (%)	$\sigma E_f(\%)$
2.051	5.00	1.00	3760	21533.039	545.304	18000	83.59	4.13
1.5	5.00	1.00	3880	18050.079	411.536	18000	99.72	4.80
1	5.00	1.00	6401	20176.15	452.619	18000	89.21	4.28
0.5	5.00	1.00	12470	19674.75	440.881	18000	91.49	4.39

Πίνακας 4.5 Μετρήσεις απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας της Maxwell.

Από τις τιμές του πίνακα 4.5 προκύπτει ότι η μέση τιμή της απόδοσης σε αυτή την περίπτωση είναι 91% με σφάλμα $\pm 2\%$. Όπως προκύπτει από αυτά τα αποτελέσματα η απόδοση του κυκλώματος φόρτισης που προτείνει η Maxwell είναι σαφώς καλύτερη από την απόδοση του κυκλώματος που σχεδιάστηκε για την παρούσα διπλωματική.

4.5 Χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευση ενέργειας

4.5.1 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με υπερπυκνωτές των 350 F

Από τη σχέση 1.6.2 του πρώτου κεφαλαίου υπολογίζεται η ενέργεια που αποδίδεται στο φορτίο από τους υπερπυκνωτές κατά την εκφόρτισή τους. Ο χρόνος λειτουργίας σε λεπτά δίνεται από τη σχέση $T = ((\Delta W / 3600) / P_w) * 60$ όπου ΔW είναι η ενέργεια που αποδίδεται και P_w η ισχύς που καταναλώνεται. Η χωρητικότητα του συστήματος των τριών παράλληλων σειρών αποτελούμενων από έξι σε σειρά υπερπυκνωτές των 350F όπως ειπώθηκε και πιο πριν είναι 175 F. Αυτή η χωρητικότητα μπορεί να αποδώσει 10357 Joule ή αλλιώς $(10357/3600)/12=0.24$ Ah. Το σύστημα των τριών παράλληλων σειρών αποτελούμενων από έξι σε σειρά υπερπυκνωτές των 350 F η ενέργεια που αποδίδεται είναι 10.357 kJoule και αντιστοιχεί σε 31 λεπτά συνεχούς λειτουργίας για ένα σύστημα ενός AP που καταναλώνει 6 Watt. Αυτή η ενέργεια πολλαπλασιαζόμενη με 0.94 που είναι ο βαθμός απόδοσης του σταθεροποιητή που βρίσκεται στην έξοδο το κυκλώματος, αντιστοιχεί σε συνεχή λειτουργία του ίδιου συστήματος για 29 λεπτά και επομένως σε 2 μέρες πλήρους αυτονομίας για λειτουργία του συστήματος για 10 λεπτά την ημέρα και χωρίς να ληφθεί υπόψη το ρεύμα διαρροής.

Το ρεύμα διαρροής της κάθε σειράς υπερπυκνωτών είναι όσο το ρεύμα διαρροής του ενός, δηλαδή 0,3 mA, ενώ το συνολικό ρεύμα διαρροής αφού το σύστημα αποτελείται από τρεις σειρές είναι 0.9 mA. Η σχέση που δίνει την ισχύ που καταναλώνεται λόγω του ρεύματος διαρροής είναι $I^2 R$ όπου I είναι το ρεύμα διαρροής και R η εσωτερική αντίσταση της στοίβας των υπερπυκνωτών που στη συγκεκριμένη περίπτωση 6.4 mΩ αφού η εσωτερική αντίσταση του κάθε πυκνωτή είναι 3.2 mΩ. Άρα η ισχύς που καταναλώνεται λόγω του ρεύματος διαρροής είναι $0.56 * 10^{-9}$ Watt. Η ενέργεια που καταναλώνεται την ημέρα για ένα φορτίο $5.184 * 10^{-9}$ Watt για συνεχή λειτουργία είναι $0.45 * 10^{-3}$ Joule.

Η ενέργεια που καταναλώνεται την ημέρα από ένα AP 6 Watt για 10 λεπτά λειτουργίας είναι 3600 Joule ενώ το σύστημα συγχρονισμού των αναμεταδοτών το οποίο λειτουργεί στα 5V μετρήθηκε ότι καταναλώνει 10 mA, δηλαδή 0.05 Watt και επομένως 4.320 kJoule την ημέρα. Άρα την ημέρα χρειάζονται $3600+4320+(0.45*10^{-3})=7920$ Joule και το σύστημα μπορεί να προσφέρει $10357*0.94=9735$ Joule. Επομένως η αυτονομία του συστήματος προκύπτει από το πηλίκο $9735/7920=1.2$ ή αλλιώς περίπου μια ημέρα πλήρους αυτονομίας. Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται συνολικά οι καταναλώσεις του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με υπερπυκνωτές 350 F.



Κατανάλωση ενέργειας σε:	Ισχύς (Watt)	Χρόνος λειτουργίας (min)	Κατανάλωση ενέργειας/ημέρα (kJoule/ημέρα)	Συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kJoule/ημέρα)	Ωφέλιμη ενέργεια συστήματος φόρτισης (kJoule)	Ημέρες πλήρους αυτονομίας
ΑΡ	6	10	3.6	7.9	9.7	1
Σύστημα περιοδικής λειτουργίας	0.05	1440	4.3			
Ρεύμα διαρροής	$0.56 \cdot 10^{-9}$	1440	$0.45 \cdot 10^{-3}$			

Πίνακας 4.6 Καταναλώσεις και αυτονομία του συστήματος αποθήκευσης ενέργεια με υπερπυκνωτές 350 F

4.5.2 Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με υπερπυκνωτές των 3000 F

Ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο παράλληλες σειρές των έξι σε σειρά υπερπυκνωτών 3000 F, έχει συνολική χωρητικότητα 1000 F και σύμφωνα με τη σχέση 1.6.2 μπορεί να προσφέρει ενέργεια ίση με 59.2 kJoule η οποία αντιστοιχεί σε λειτουργία ενός συστήματος ισχύος 18 Watt (δύο σταθμούς δειγματοληψίας των 6 Watt και ένα ΑΡ 6 Watt) για 54 λεπτά συνεχούς λειτουργίας. Αυτή η ενέργεια πολλαπλασιαζόμενη με 0.94 που είναι ο βαθμός απόδοσης του σταθεροποιητή που βρίσκεται στην έξοδο του κυκλώματος, δίνει την ωφέλιμη ενέργεια του συστήματος φόρτισης που είναι 55.651 kJoule και αντιστοιχεί σε συνεχή λειτουργία του ίδιου συστήματος για 51 λεπτά και επομένως για 5 μέρες πλήρους αυτονομίας και πάλι χωρίς να ληφθεί υπόψη το ρεύμα διαρροής. Η χωρητικότητα του συστήματος που είναι 1000 F αντιστοιχεί σε $(55651/3600)/12=1.3$ Ah και ο χρόνος φόρτισής του από τα 12 Volt στα 16.2 είναι περίπου μια ώρα και τριάντα λεπτά.

Στην περίπτωση των υπερπυκνωτών 3000 F το ρεύμα διαρροής είναι 5.2 mA. Επομένως για ένα σύστημα δύο παράλληλων σειρών αποτελούμενες από έξι σε σειρά υπερπυκνωτές των 3000 F το συνολικό ρεύμα διαρροής είναι 10.4 mA. Η εσωτερική αντίσταση των υπερπυκνωτών 3000 F είναι 0.29 mΩ και επομένως η συνολική αντίσταση της στοίβας σε αυτήν την περίπτωση είναι 0.87 mΩ. Άρα η ισχύς του ρεύματος διαρροής σε αυτήν την περίπτωση είναι $31.36 \cdot 10^{-6}$ Watt ενώ η ενέργεια που καταναλώνεται την ημέρα είναι 2.7 Joule.

Η ενέργεια που καταναλώνεται την ημέρα από το σύστημα συγχρονισμού των αναμεταδοτών είναι και σε αυτήν την περίπτωση 4.3 kJoule ενώ η ενέργεια που καταναλώνεται όταν οι δύο σταθμοί δειγματοληψίας λειτουργούν τέσσερις φορές την ημέρα για 10 λεπτά και το ΑΡ μια φορά την ημέρα για 10

λεπτά είναι 32.4 kJoule. Επομένως αφού το σύστημα μπορεί να προσφέρει ίση με $59.2 \cdot 0.94 = 55.6$ kJoule και χρειάζεται κάθε μέρα $32.4 + 4.3 + 0.0027 = 36.7$ kJoule θα έχει τελικά $55.6/36.7 = 1.5$ ή αλλιώς 1 ημέρα πλήρους αυτονομίας.

Κατανάλωση ενέργειας σε:	Ισχύς (Watt)	Χρόνος λειτουργίας (min)	Κατανάλωση ενέργειας/ημέρα (kJoule/ημέρα)	Συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kJoule/ημέρα)	Ωφέλιμη ενέργεια συστήματος φόρτισης (kJoule)	Ημέρες πλήρους αυτονομίας
AP	6	10	3.6	36.7	55.6	1
Δύο σταθμοί δειγματοληψίας	12	40	28.8			
Σύστημα περιοδικής λειτουργίας	0.05	1440	4.3			
Ρεύμα διαρροής	$0.56 \cdot 10^{-9}$	1440	$0.45 \cdot 10^{-3}$			

Πίνακας 4.7 Καταναλώσεις και αυτονομία του συστήματος αποθήκευσης ενέργεια με υπερπυκνωτές 3000 F για δύο σταθμούς δειγματοληψίας και ένα AP.

Για ένα σύστημα με έναν σταθμό δειγματοληψία των 6 Watt που λειτουργεί τέσσερις φορές την ημέρα από δέκα λεπτά και ένα AP που λειτουργεί μια φορά την ημέρα για δέκα λεπτά η ενέργεια που καταναλώνεται είναι 18 kJoule. Επομένως σε αυτήν την περίπτωση η συνολική ενέργεια που καταναλώνει το σύστημα μαζί με το κύκλωμα συγχρονισμού και τις απώλειες λόγω ρεύματος διαρροής είναι $18.0 + 4.3 + 0.0027 = 22.3$ kJoule και έτσι η αυτονομία του συστήματος θα είναι $55.6/22.3 = 2.4$ ή αλλιώς περίπου δύο ημέρες πλήρους αυτονομίας.

Κατανάλωση ενέργειας σε:	Ισχύς (Watt)	Χρόνος λειτουργίας (min)	Κατανάλωση ενέργειας/ημέρα (kJoule/ημέρα)	Συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kJoule/ημέρα)	Ωφέλιμη ενέργεια συστήματος φόρτισης (kJoule)	Ημέρες πλήρους αυτονομίας
AP	6	10	3.6	22.3	55.6	2
Ένας σταθμοί δειγματοληψίας	6	40	14.4			
Σύστημα περιοδικής λειτουργίας	0.05	1440	4.3			
Ρεύμα διαρροής	$0.56 \cdot 10^{-9}$	1440	$0.45 \cdot 10^{-3}$			

Πίνακας 4.8 Καταναλώσεις και αυτονομία του συστήματος αποθήκευσης ενέργεια με υπερπυκνωτές 3000 F για έναν σταθμό δειγματοληψίας και ένα AP.



Τέλος μόνο για το σύστημα του αναμεταδότη με δύο AP ισχύος 6Watt το καθένα που λειτουργούν για δέκα λεπτά την ημέρα η ενέργεια που καταναλώνουν είναι 7.2 kJoule. Επομένως μαζί με το σύστημα συγχρονισμού και τις απώλειες λόγω ρεύματος διαρροής η συνολική ενέργεια που χρειάζεται θα είναι $7.2+4.3+0.0027=11.5$ kJoule και τελικά η αυτονομία του συστήματος σε αυτήν την περίπτωση θα είναι $55.6/11.5=4.8$ ή αλλιώς τέσσερις ημέρες πλήρους αυτονομίας.

Κατανάλωση ενέργειας σε:	Ισχύς (Watt)	Χρόνος λειτουργίας (min)	Κατανάλωση ενέργειας/ημέρα (kJoule/ημέρα)	Συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kJoule/ημέρα)	Ωφέλιμη ενέργεια συστήματος φόρτισης (kJoule)	Ημέρες πλήρους αυτονομίας
Δύο AP	12	10	7.2	11.5	55.6	4
Σύστημα περιοδικής λειτουργίας	0.05	1440	4.3			
Ρεύμα διαρροής	$0.56 \cdot 10^{-9}$	1440	$0.45 \cdot 10^{-3}$			

Πίνακας 4.9 Καταναλώσεις και αυτονομία του συστήματος αποθήκευσης ενέργεια με υπερπυκνωτές 3000 F για δύο AP.

Για το σύστημα των δύο σταθμών δειγματοληψίας κατανάλωσης από 6Watt ο καθένας και του ενός AP υπολογίστηκε ότι όταν η τάση των υπερπυκνωτών είναι μικρότερη από 13 Volt η ενέργεια που μπορούν να παρέχουν οι υπερπυκνωτές δεν επαρκεί για να τροφοδοτήσει το σύστημα για 10 λεπτά και επομένως οι αντιστάσεις $R1 = 9 \text{ M}\Omega$ και $R2 = 1 \text{ M}\Omega$ του κυκλώματος διαχείρισης της τάσης εξόδου που περιγράφηκε στο 2.1.4 και οι τιμές τους παρουσιάζονται στον πίνακα Π.4 του παραρτήματος Ι.1.5 αντικαταστάθηκαν από τις $R1 = 10.3 \text{ M}\Omega$ και $R2 = 1.1 \text{ M}\Omega$.

5. Συμπεράσματα - Συζήτηση

5.1 Συμπεράσματα-Γενικές παρατηρήσεις-μελλοντική εξέλιξη του συστήματος

Οι υπερπυκνωτές έχουν το πλεονέκτημα ότι τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούν είναι κατασκευασμένα από πορώδη άνθρακα ο οποίος είναι πιο οικολογικός από τον μόλυβδο που χρησιμοποιούν οι μπαταρίες. Επίσης έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής και έτσι η αντικατάστασή τους αργεί. Παρ'όλ' αυτά όμως παρουσιάζουν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα ένα από τα οποία είναι και το υψηλό τους κόστος. Σε ένα σύστημα σαν αυτό της παρούσας κατασκευής χρειάζεται μεγάλος αριθμός υπερπυκνωτών για την πλήρη αυτονομία και λόγου του υψηλού τους κόστους η αυτονομία δεν είναι εφικτή. Έτσι πρέπει να προβλεφθούν συστήματα αυτοματισμού για την περιοδική λειτουργία του συστήματος.

Συγκρίνοντας τα δύο συστήματα φόρτισης-εξισορρόπησης φαίνεται καθαρά ότι το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι πιο ευέλικτο σε σχέση με αυτό που προτείνεται από την κατασκευάστρια εταιρία των υπερπυκνωτών καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για υπερπυκνωτές ονομαστικής τάσης 2.5 Volt εκτός από τους 2.7 Volt που χρησιμοποιούνται στην παρούσα κατασκευή. Επιπλέον μπορεί κανείς να κατασκευάσει ένα σύστημα πλήρως προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του καθώς οι φορτιστές της κατασκευής είναι προγραμματιζόμενου ρεύματος φόρτισης και επομένως ο χρήστης γνωρίζει ακριβώς το ρεύμα και άρα μπορεί να υπολογίσει των αριθμό των μετατροπέων DC-DC που θα χρησιμοποιήσει ανάλογα με την μέγιστη ισχύ που μπορούν να του παρέχουν οι εκάστοτε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (εδώ φωτοβολταϊκά στοιχεία). Το βασικότερο μειονέκτημα της παρούσας κατασκευής σε σχέση με αυτήν που προτείνει η εταιρία κατασκευής των υπερπυκνωτών είναι η πολυπλοκότητα της και το υψηλότερο κόστος της αλλά και ο χαμηλός βαθμός απόδοσης.

Οι δοκιμές για των συγχρονισμό των αναμεταδοτών αλλά και την ποιότητα και ισχύ του σήματος έγιναν σε απόσταση 3.35 km αλλά το σύστημα έχει την δυνατότητα ανάλογα με τις κεραίες που θα χρησιμοποιηθούν να εκπέμψει και σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις χωρίς προβλήματα. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις ρυθμίσεις του συστήματος στους αναμεταδότες που χειρίζονται δεδομένα από διαφορετικούς σταθμούς για να μην υπάρχει σύγκρουση πακέτων καθώς επίσης και συμφόρηση των καναλιών εκπομπής. Κάθε ζεύξη πρέπει να χρησιμοποιεί δικό της κανάλι εκπομπής.

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε υπερπυκνωτές χωρητικότητας 350 F με τη χρήση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης που καταναλώνει 6 W για 10 λεπτά την ημέρα που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει πλήρη αυτονομία μιας ημέρας. Αν χρησιμοποιηθούν δύο παράλληλες σειρές αποτελούμενες από έξι σε σειρά συνδεδεμένους υπερπυκνωτές 3000 F και με συνολική κατανάλωση 18 W (δύο σταθμοί δειγματοληψίας 6 W ο καθένας και 1 ασύρματο σημείο πρόσβασης 6 W) το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει για δέκα λεπτά την ημέρα με μια ημέρα αυτονομίας όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.5. Ένα σύστημα ενός σταθμού δειγματοληψίας και ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης δύο ημέρες αυτονομίας και ένα σύστημα ενός αναμεταδότης με δύο ασύρματα σημεία πρόσβασης για δέκα λεπτά λειτουργίας την ημέρα έχει αυτονομία τεσσάρων ημερών.

Μελλοντικά θα μπορούσε το σύστημα να βελτιωθεί ώστε να μπορεί χρησιμοποιεί και άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας που μπορεί να εξοικονομούν περισσότερη ενέργεια όπως για παράδειγμα το πρωτόκολλο ZigBee. Επίσης θα μπορούσε να σχεδιαστεί ένα κύκλωμα επικοινωνίας του μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό της ώρας που ανοίγουν οι αναμεταδότες με τα AP τέτοιο ώστε να μπορεί ο χρήστης απομακρυσμένα όταν θα ανοίγουν να αλλάξει και την ώρα συγχρονισμού τους. Θα μπορούσε να μελετηθεί και η εκμετάλλευση άλλων μορφών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) όπως ενέργεια από τα δένδρα [51], αιολική ή γεωθερμική ενέργεια [52]. Τέλος και πολύ σημαντικό αν επιλεχθεί να χρησιμοποιηθεί σε κάποια άλλη κατασκευή το σύστημα φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική θα μπορούσε να βελτιωθεί ο βαθμός απόδοσής του.



6. Αναφορές

[1]: <http://www.greece-albania.eu/projects.html?view=item&id=14>

[2]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_access_point

[3]: κ.Χρήστος, τηλεφωνική επικοινωνία, τεχνικός της εταιρίας "aerial.net", Οκτώβριος 2012.

<http://www.aerial.net/shop/>

[4]: http://en.wikipedia.org/wiki/Isotropic_radiator

[5]: Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων, Κείμενο δημόσιας διαβούλευσης για ασύρματα τοπικά δίκτυα WLAN, Μαρούσι 2004

http://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Telecoms/Licencing/Public_Consultation_WLAN.pdf

[6]: http://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss

[7]: http://allendale-stores.co.uk/wifi/info/FAQ-What_Antenna_Guide.pdf

[8]: Δήμητρα Χ. Μπούζη, Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, Αθήνα Οκτώβριος 2008

[9]: Θ.Πέτρογλου, Ανάπτυξη ηλιακού συστήματος μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας, Ιωάννινα Αύγουστος 2009

[10]: http://en.wikipedia.org/wiki/Augustin-Jean_Fresnel

[11]: http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone

[12]: Donald Eastlake, IEEE P802.11 Wireless Lans, January 2007

<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/PARs/11-07-0149-05-000s-modified-802-11-tgs-par-and-5c.doc>

[13]: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

[14]: <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11b>

[15]: http://en.wikipedia.org/wiki/Complementary_code_keying

[16]:

http://media.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/CWAP_ch8.pdf

[17]: IEEE Computer Society, IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchanf between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements, Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, New York June 2007

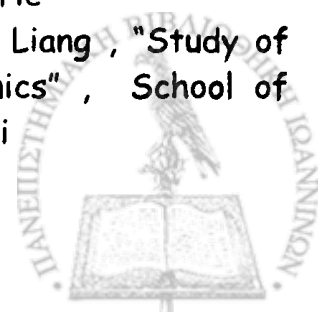
http://unina.stidue.net/Protocolli%20per%20Reti%20Mobili/Materiale/802_11-2007.pdf

[18]: <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11a>

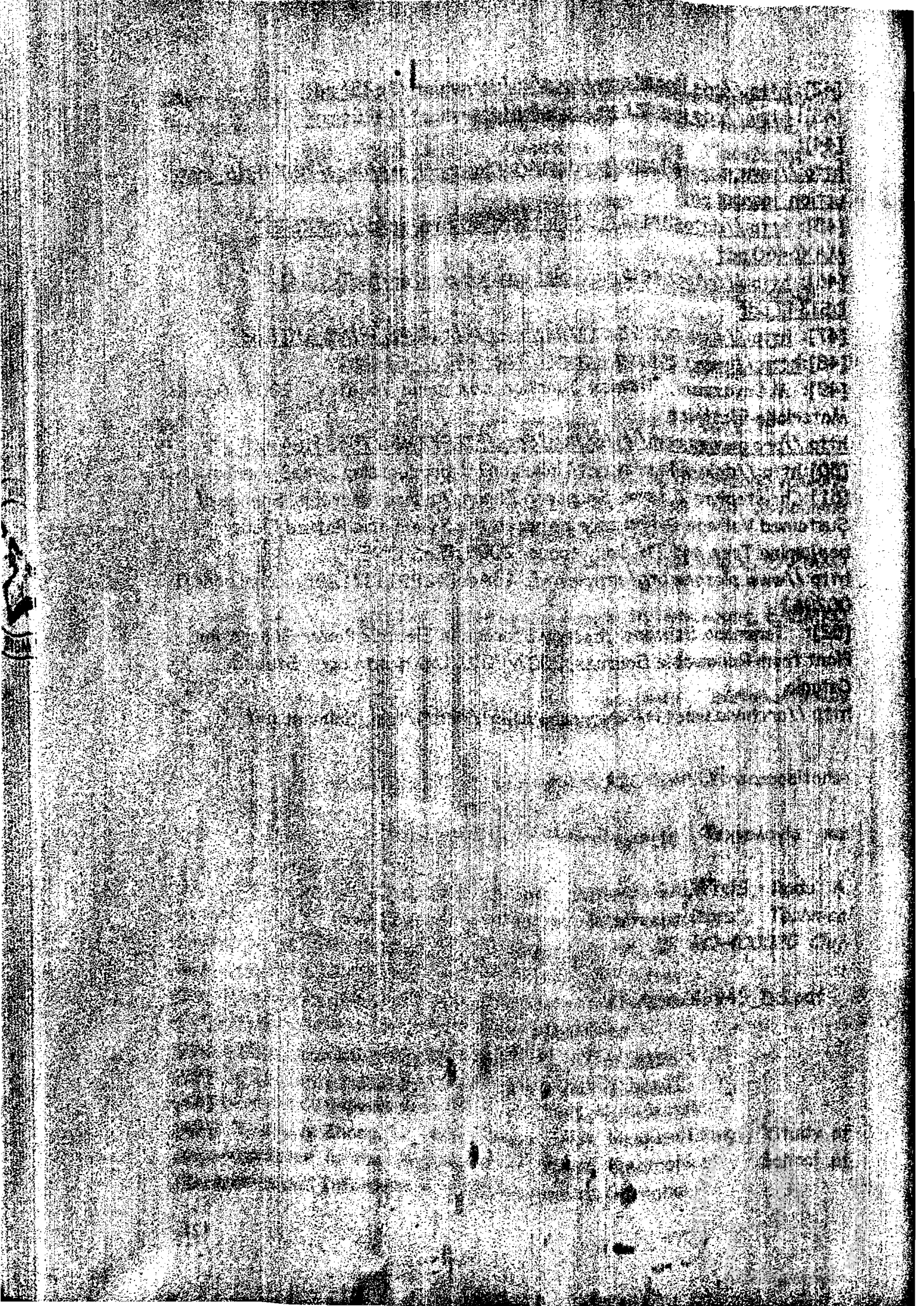
[19]: http://en.wikipedia.org/wiki/Service_set_%28802.11_network%29



- [20]: Ιωάννης Παναγιώτου, Δημήτρης-Αλέξανδρος Τουμπακάρης, Μιχαήλ Τσαγκαρόπουλος, Διημερίδα εκπαίδευσης τεχνικών της ΔΕΣ του ΟΤΕ Α.Ε. με θέμα Υπηρεσία «Ελεγχόμενης Ασύρματης Τοπικής Πρόσβασης σε Ευρυζωνικές Υπηρεσίες (Wireless Hotspots)», Μάρτιος 2007
- [21]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_bridge
- [22]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_repeater
- [23]: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels
- [24]: http://dokuwiki.e-zy.net/doku.php?id=products:ez3p:ez3_manual
- [25]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wired_Equivalent_Privacy
- [26]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Protected_Access
- [27]: Martin Beck, TU-Dresden, *Enhanced TKIP Michael Attacks*, Germany, February 25 2010
- [28]: Σ.Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, "ΣΕΛΚΑ - 4Μ ΕΠΕ", Αθήνα 2011
- [29]: Α.Κουτσομάρκος, Κ.Κουτσομάρκος, Διερεύνηση της αντίστασης γείωσης στηριγμάτων - θεμελίων φωτοβολταϊκών πάνελ μέσω του λογισμικού προσομοίωσης CMOSOL Multiphysics, Θεσσαλονίκη 2012.
- [30]: Μ.Μίσης, τηλεφωνική επικοινωνία - αποστολή προσφοράς, ΕΛΕΜΚΟ ΑΒΕΕ, 2011
Γ. Λαμνάτος, τηλεφωνική επικοινωνία - αποστολή προσφοράς, ΕΛΕΜΚΟ ΑΒΕΕ, 2012
<http://www.elemko.gr/index-1.html>
- [31]: Α.Αναστοπούλου, Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, Θεσσαλονίκη Σεπτέμβριος 2009.
- [32]: <http://www.ikusi.gr/index.php>
- [33]: Product Guide - Maxwell Technologies BOOSTCAP Ultracapacitors- Doc. No. 1014627.1
- [34]: Κ.Ιωαννίδης, Ηλεκτροχημικοί Υπερπυκνωτές Τεχνολογία και εφαρμογές, Θεσσαλονίκη 2011
- [35]: Dorin PETREUS, Daniel MOGA, Ramona GALATUS, Radu A. MUNTEANU, " Modeling and Sizing of Supercapacitors", *Technical University of Cluj Napoca str. C. Daicoviciu nr. 15, RO-400020 Cluj-Napoca, dorin.petreus@ael.utcluj.ro*
- [36]: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/166/49945_DS.pdf
- [37]: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- [38]: <http://www.parallax.com/tabid/393/default.aspx>
- [39]: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ptn78020w.pdf>
- [40]: http://en.wikipedia.org/wiki/EIA_Class_2_dielectric
- [41]: Yi cheng Zhang, Li Wei, Xiaojun Shen, Haiquan Liang , "Study of Supercapacitor in the Application of Power Electronics" , School of Electronics and Information Tongji University, Shanghai



- [42]: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3625f.pdf>
- [43]: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/4425f.pdf>
- [44]:
http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/20090316_instruction_manual.pdf
- [45]: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6457-MAX6460.pdf>
- [46]: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1341-DS1342.pdf>
- [47]: http://www.propox.com/download/docs/GPS_GMM_U1LP.pdf
- [48]: <http://www.codepedia.com/1/The+GPRMC+Sentence>
- [49]: M.Gavazzeni, "Gewiss Junction box serie 76 atex", 2009, Gewiss Materiale Elettrico
<http://pro.gewiss.com/irj/go/km/docs/FILE/ZMN/75534164.pdf>
- [50]: http://dokuwiki.e-zy.net/doku.php?id=products:ez3p:ez3_manual
- [51]: Christopher J. Love, Shuguang Zhang, Andreas Mershin, Source of Sustained Voltage Difference between the Xylem of a Potted Ficus benjamina Tree and Its Soil, August 2008, PLoS ONE
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0002963>
- [52]: Tommaso Scimone ,Energy Storage in Electric Power Generation Plant from Renewable Sources, 2007/2010, Università degli Studi di Catania
http://archivia.unict.it/bitstream/10761/228/1/tesi_Scimone.pdf



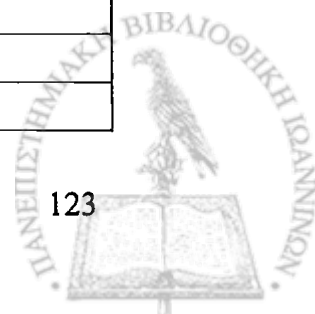
Παράρτημα Ι

Ι.1 Οι πλακέτες των κυκλωμάτων

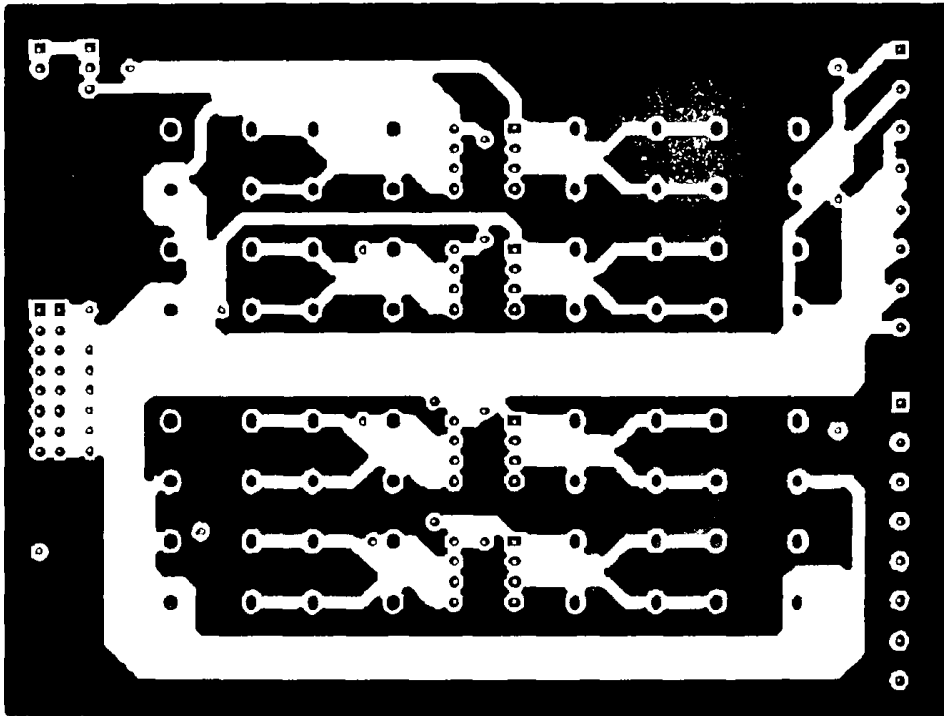
Ι.1.1 Το σύστημα ελέγχου της φόρτισης των υπερπυκνωτών

Πίνακας Π.1. Πίνακας στοιχείων του συστήματος ελέγχου της φόρτισης.

A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος - Τιμή	Περιγραφή
1	R1	6.8MΩ	Αντιστάτης
2	R2	1.8MΩ	Αντιστάτης
3	R3	2.7MΩ	Αντιστάτης
4	R4	8.2MΩ	Αντιστάτης
5	R5	6.8MΩ	Αντιστάτης
6	R6	1.8MΩ	Αντιστάτης
7	R7	2.7MΩ	Αντιστάτης
8	R8	8.2MΩ	Αντιστάτης
9	R9	4.7MΩ	Αντιστάτης
10	R10	2MΩ	Αντιστάτης
11	R11	5.6 MΩ	Αντιστάτης
12	R12	10 MΩ	Αντιστάτης
13	R13	4.7 MΩ	Αντιστάτης
14	R14	2 MΩ	Αντιστάτης
15	R15	5.6 MΩ	Αντιστάτης
16	R16	10 MΩ	Αντιστάτης
17	R17	8.2 MΩ	Αντιστάτης
18	R18	6.8 MΩ	Αντιστάτης
19	R19	2 MΩ	Αντιστάτης
20	R20	1.2 MΩ	Αντιστάτης
21	R21	8.2 MΩ	Αντιστάτης
22	R22	6.8 MΩ	Αντιστάτης
23	R23	2 MΩ	Αντιστάτης
24	R24	1.2 MΩ	Αντιστάτης
25	R25	8.2 MΩ	Αντιστάτης
26	R26	2 MΩ	Αντιστάτης
27	R27	8.2 MΩ	Αντιστάτης
28	R28	2 MΩ	Αντιστάτης
29	R29	8.2 MΩ	Αντιστάτης
30	R30	2 MΩ	Αντιστάτης

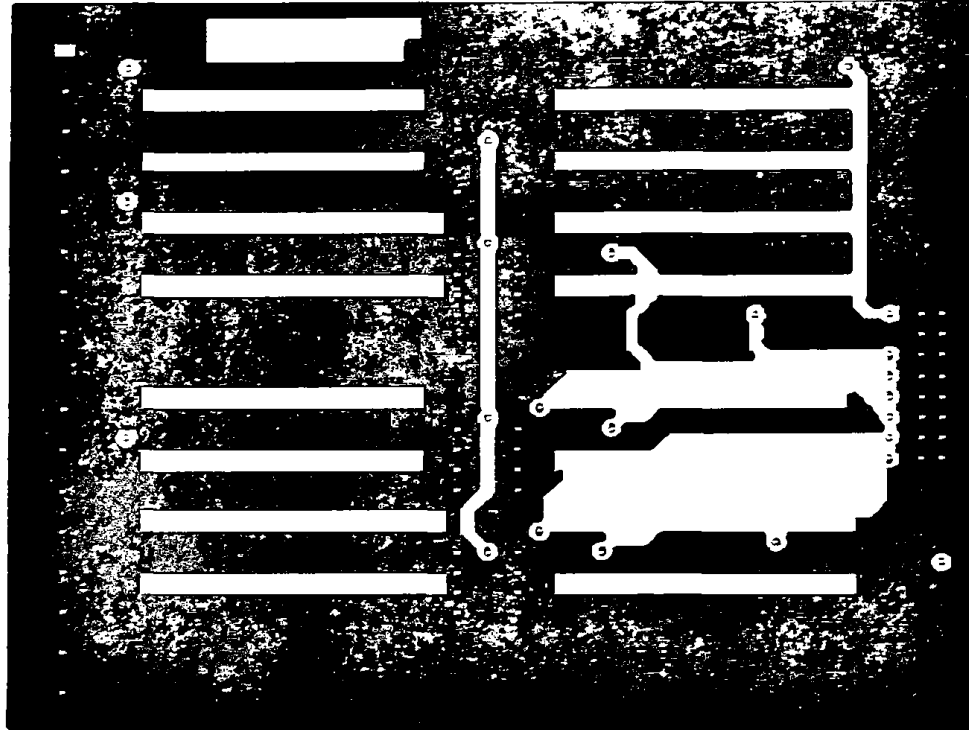


31	R31	8.2 MΩ	Αντιστάτης
32	R32	2 MΩ	Αντιστάτης
33	U1	LM358N	Τελεστικός Ενισχυτής
34	U2	LM358N	Τελεστικός Ενισχυτής
35	U3	LM358N	Τελεστικός Ενισχυτής
35	U4	LM358N	Τελεστικός Ενισχυτής

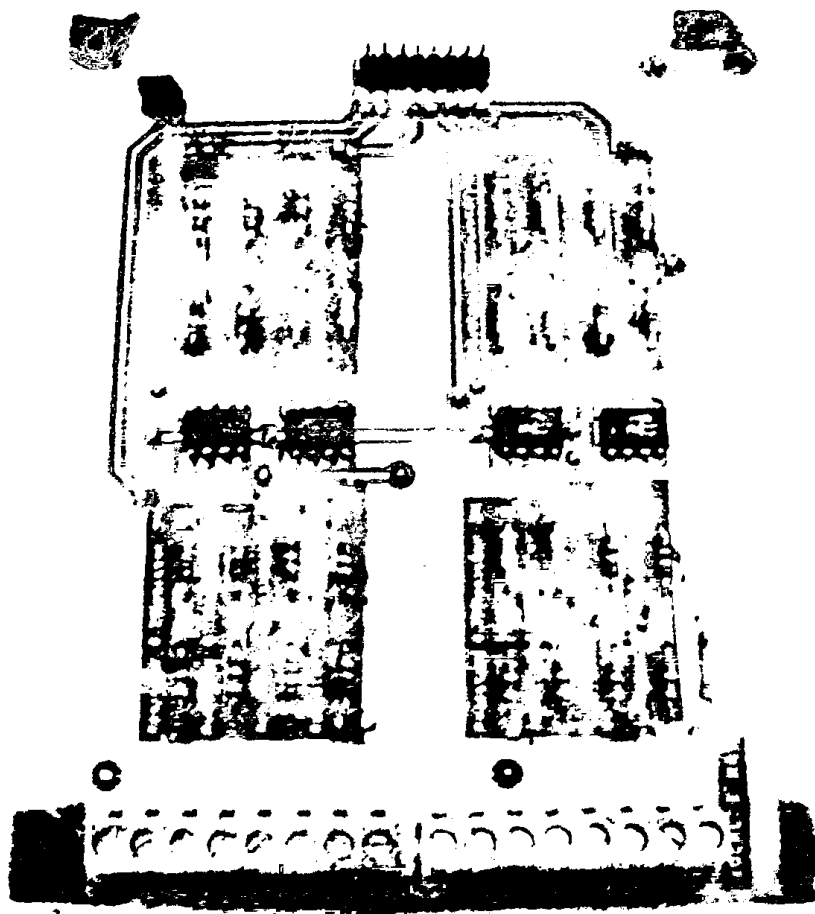


Εικόνα Π.2. Τυπωμένο κύκλωμα του συστήματος ελέγχου της φόρτισης των υπερπυκνωτών (πάνω επίπεδο) σε κλίμακα 1:1.





Εικόνα Π.3. Τυπωμένο κύκλωμα του συστήματος ελέγχου της φόρτισης των υπερπυκνωτών (κάτω επίπεδο) σε κλίμακα 1:1.

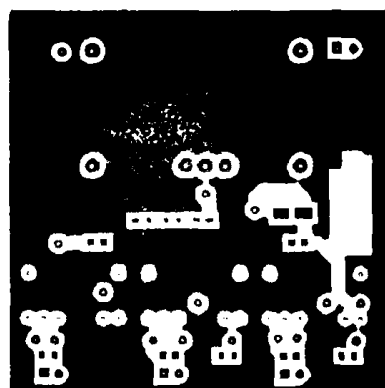


Εικόνα Π.4. Φωτογραφία του μετρητικού συστήματος.

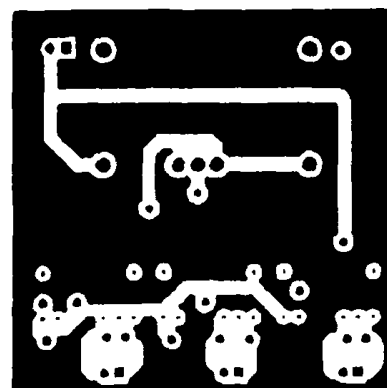
Ι.1.2 Κύκλωμα τροφοδοσίας φορτιστή

Πίνακας Π.2. Πίνακας στοιχείων του κυκλώματος τροφοδοσίας των φορτιστών.

A/A	Όνομα στοιχείου	Τιμή - Τύπος	Περιγραφή
1	C1	2.2μF	Πυκνωτής
2	U1	PTN78020	Σταθεροποιητής
3	R1	680Ω	Αντιστάτης
4	R2	24Ω	Αντιστάτης
5	R3	30Ω	Αντιστάτης
6	C2	330μF	Πυκνωτής
7	C3	2.2μF	Πυκνωτής
8	C9	2.2μF	Πυκνωτής
9	C5	2.2μF	Πυκνωτής
10	C6	1μF	Πυκνωτής
11	C7	1μF	Πυκνωτής
12	C8	1μF	Πυκνωτής
13	U2	DCP020505P	DC-DC Απομόνωσης
14	U3	DCP020505P	DC-DC Απομόνωσης
15	U4	DCP020505P	DC-DC Απομόνωσης

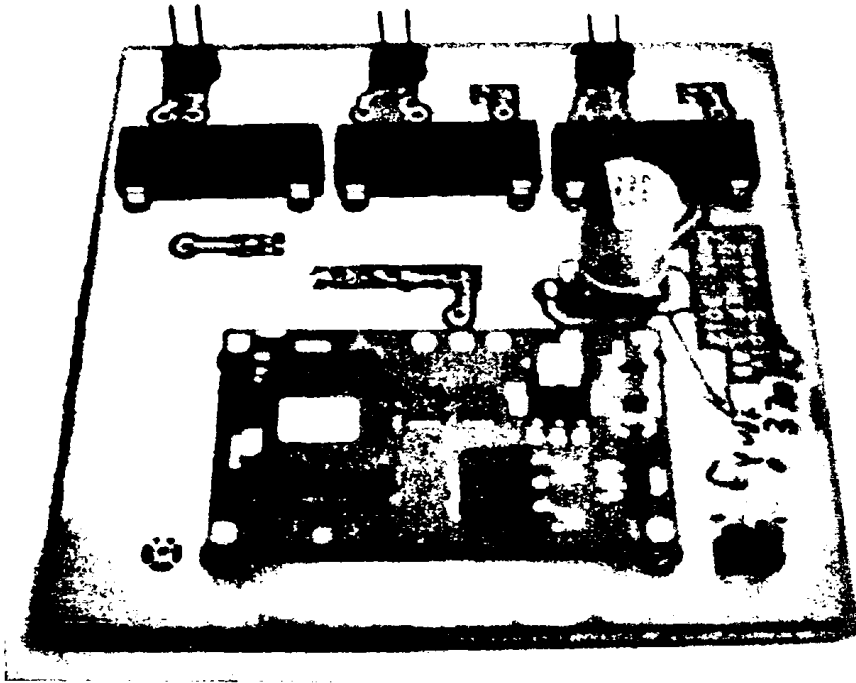


Πάνω επίπεδο



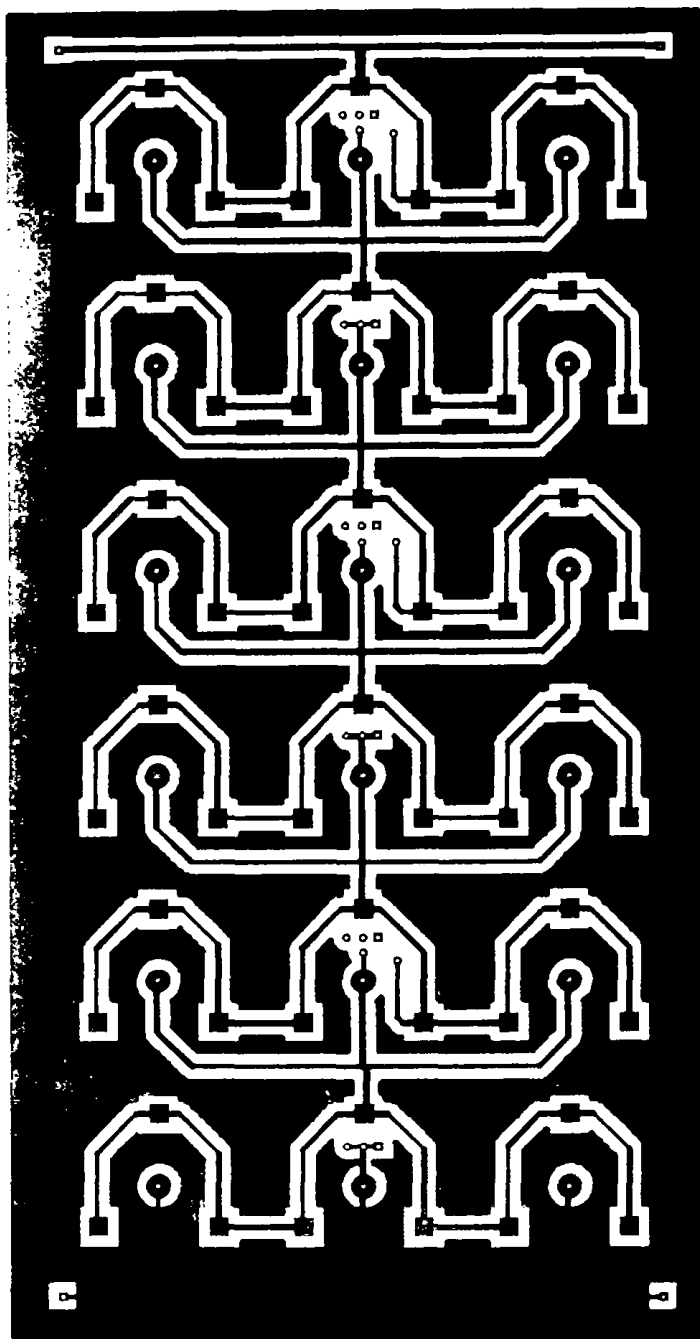
Κάτω επίπεδο

Εικόνα Π.5. Τυπωμένο κύκλωμα τροφοδοσίας των φορτιστών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κλίμακα 1:1.



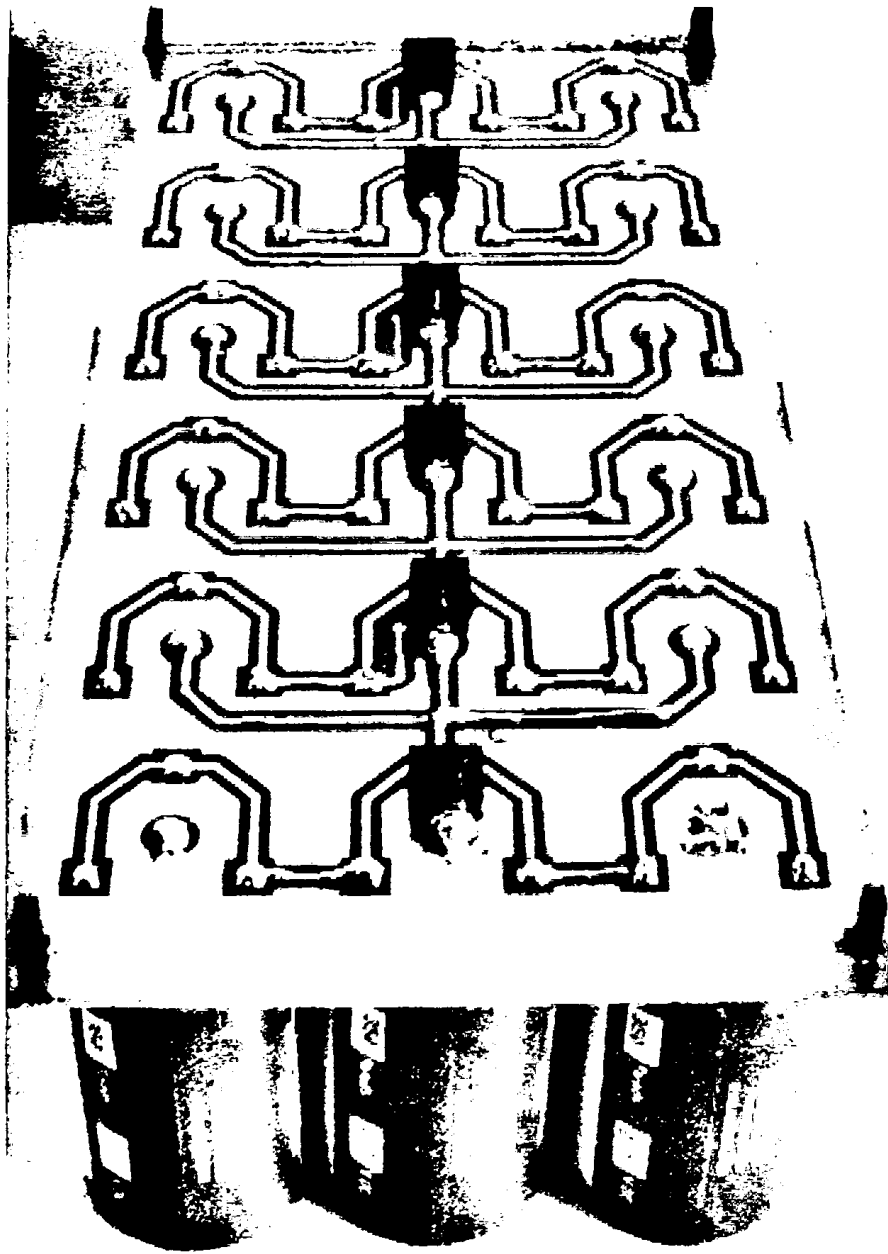
Εικόνα Π.6. Φωτογραφία του κυκλώματος τροφοδοσίας των φορτιστών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

μα τοποθέτησης των υπερπυκνωτών



κλωμα τοποθέτησης των υπερπυκνωτών σε κλίμακα 1:1



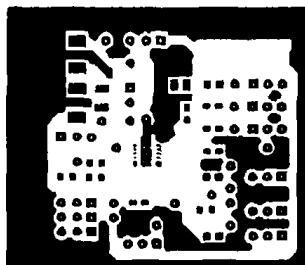


Εικόνα Π.8. Φωτογραφία του κυκλώματος τοποθέτησης των υπερπικνωτών.

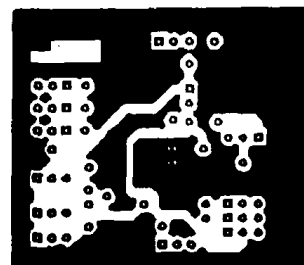
Ι.1.4 Κύκλωμα φορτιστή

Πίνακας Π.3. Πίνακας στοιχείων του φορτιστή LTC4425.

A/A	Όνομα Στοιχείου	Τύπος - Τιμή	Περιγραφή
1	R1	3.3MΩ	Αντιστάτης
2	R2	2.2 MΩ	Αντιστάτης
3	R3	10kΩ	Αντιστάτης
4	R4	1 MΩ	Αντιστάτης
5	R5	1 MΩ	Αντιστάτης
6	R6	1.1kΩ	Αντιστάτης
7	R7	500Ω	Αντιστάτης
8	R8	10kΩ	Αντιστάτης
9	R9	10kΩ	Αντιστάτης
10	R10	10kΩ	Αντιστάτης
11	R11	1MΩ	Αντιστάτης
12	R12	3.3MΩ	Αντιστάτης
13	D2	SMD LED	Λυχνία
14	D3	MBRS130T3	Δίοδος Schottky
15	D4	MBRS130T3	Δίοδος Schottky
16	C1	10μF	Πυκνωτής
17	U1	LTC4425	Ολοκληρωμένο

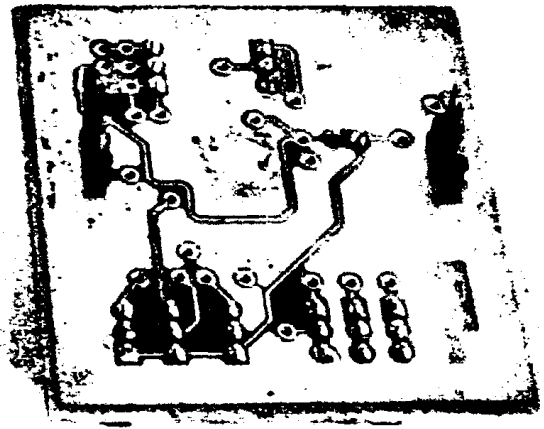
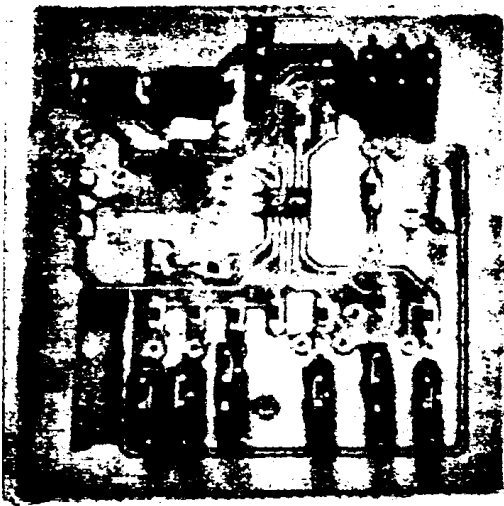


Πάνω επίπεδο



Κάτω επίπεδο

Εικόνα Π.9. Τυπωμένο κύκλωμα εξισορρόπησης με τη χρήση του ολοκληρωμένου LTC4425 σε κλίμακα 1:1

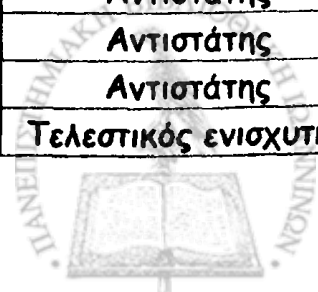


Εικόνα Π.10. Φωτογραφία του κυκλώματος των φορτιστών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία

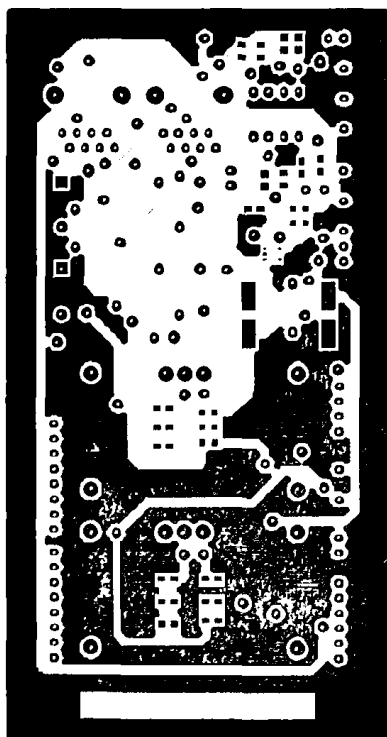
I.1.5 Κύκλωμα διαχείρισης της τάσης εξόδου

Πίνακας Π.4. Πίνακας στοιχείων του κυκλώματος διαχείρισης της τάσης εξόδου.

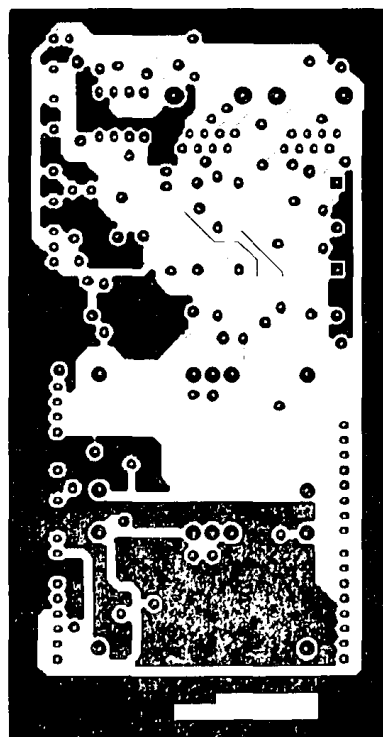
A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος - Τιμή	Περιγραφή
1	U1	5VDC Relay	Relay
2	R1	9MΩ	Αντιστάτης
3	R2	1MΩ	Αντιστάτης
4	R3	2.2kΩ	Αντιστάτης
5	U2	MAX6457	Διαχείριση Ενέργειας
6	Q1	IRLR7807	Mosfet
7	C2	2.2μF	Πυκνωτής
8	C4	1μF	Πυκνωτής
9	U3	PTN78020W	Σταθεροποιητής
10	R4	680Ω	Αντιστάτης
11	R5	24Ω	Αντιστάτης
12	R6	30Ω	Αντιστάτης
13	C1	330μF	Πυκνωτής
14	C3	1μF	Πυκνωτής
15	JF1	Ethernet Female	Συνδέτης
16	JF2	Ethernet Female	Συνδέτης
17	J2	Sampling Power	Συνδέτης
18	C6	2.2μF	Πυκνωτής
19	C8	1μF	Πυκνωτής
20	U4	PTN78020P	Σταθεροποιητής
21	R7	9kΩ	Αντιστάτης
22	R8	2kΩ	Αντιστάτης
23	R9	10kΩ	Αντιστάτης
24	C5	330μF	Πυκνωτής
25	C7	1μF	Πυκνωτής
26	U5	5VDC Relay	Relay
27	R10	8.2MΩ	Αντιστάτης
28	R11	2MΩ	Αντιστάτης
29	R12	2MΩ	Αντιστάτης
30	R13	8.2MΩ	Αντιστάτης
31	R14	8.2MΩ	Αντιστάτης
32	R15	2MΩ	Αντιστάτης
33	R16	2MΩ	Αντιστάτης
34	R17	8.2MΩ	Αντιστάτης
35	U6	LM358N	Τελεστικός ενισχυτής



36	Q3	2N1613	Τρανζίστορ
37	D2	1N4500	Δίοδος
38	R18	30kΩ	Αντιστάτης
39	R19	510Ω	Αντιστάτης
40	D3	SMD LED	Λυχνία
41	Q7	2N1613	Τρανζίστορ
42	D1	1N4500	Δίοδος
43	R20	30kΩ	Αντιστάτης
44	R21	510Ω	Αντιστάτης
45	D4	SMD LED	Λυχνία

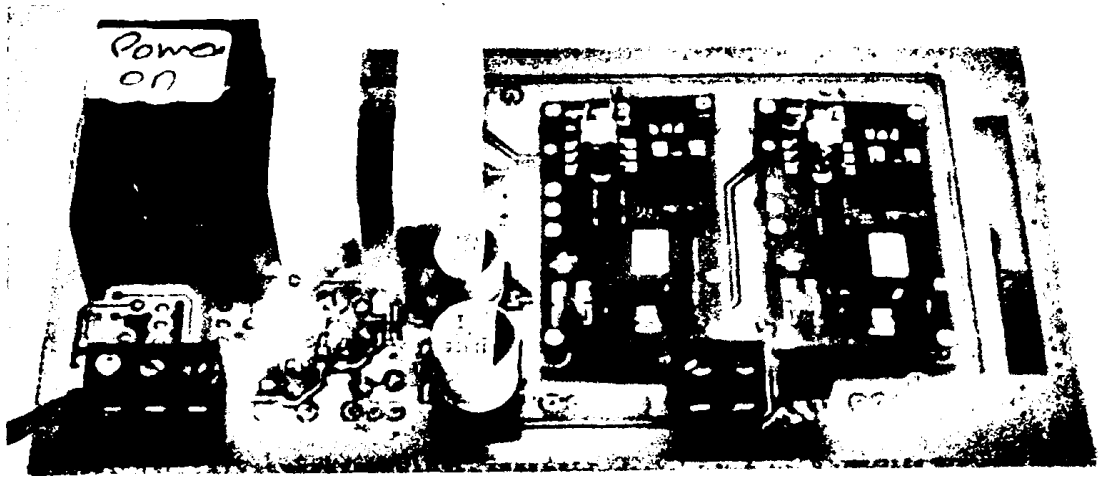


Πάνω επίπεδο



Κάτω επίπεδο

Εικόνα Π.11. Τυπωμένο κύκλωμα για την διαχείριση της τάσης εξόδου σε κλίμακα 1:1.

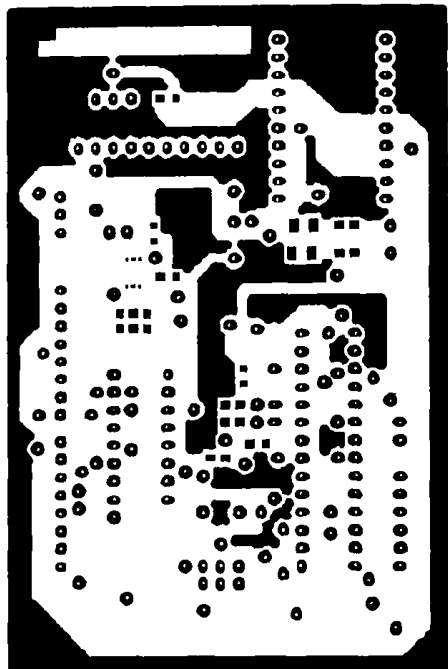


Εικόνα Π.12. Φωτογραφία του κυκλώματος διαχείρισης της τάσης εξόδου.

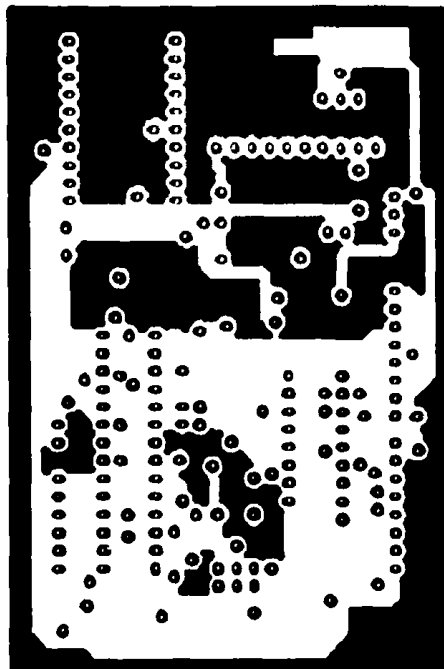
Ι.1.6 Κύκλωμα συγχρονισμού των αναμεταδοτών

Πίνακας Π.5. Πίνακας στοιχείων του κυκλώματος συγχρονισμού των αναμεταδοτών.

A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος - Τιμή	Περιγραφή
1	R1	4.7kΩ	Αντιστάτης
2	C1	22pF	Πυκνωτής
3	C2	22pF	Πυκνωτής
4	C3	100nF	Πυκνωτής
5	C5	100nF	Πυκνωτής
6	R2	300Ω	Αντιστάτης
7	R7	1kΩ	Αντιστάτης
8	R8	9kΩ	Αντιστάτης
9	SW1	SMD BUTTON	Διακόπτης
10	D1	SMD LED	Λυχνία
11	Q2	IRLR7807	MOSFET
12	Q1	IRLR7807	MOSFET
13	J4	DIP SWITCH	Διακόπτες
14	R3	2.2kΩ	Αντιστάτης
15	J2	32.769kHz	Quartz Crystal
16	C4	100nF	Πυκνωτής
17	R4	2.2kΩ	Αντιστάτης
18	R5	2.2kΩ	Αντιστάτης
19	R6	2.2kΩ	Αντιστάτης
20	J9	GTPA010	Δέκτης GPS
21	U1	ATmega328P-PU	Μικροελεγκτής
22	U2	FT232RL	USB TO SERIAL
23	U3	16MHz	Quartz Crystal
24	U4	DS1342	Ρολόι πραγματικού χρόνου

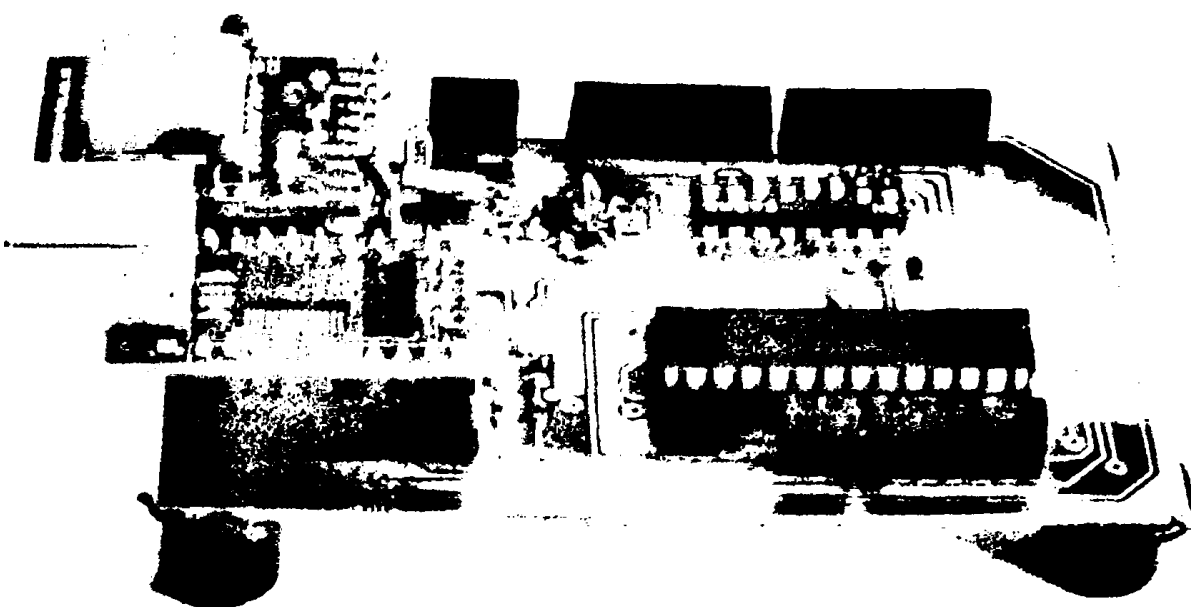


Πάνω επίπεδο



Κάτω επίπεδο

Εικόνα Π.13. Τυπωμένο κύκλωμα για τον συγχρονισμό των αναμεταδοτών κλίμακα 1:1.



Εικόνα Π.14. Φωτογραφία του κυκλώματος που χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό των αναμεταδοτών.

Παράρτημα ΙΙ

ΙΙ.1. Προγραμματισμός μικροελεγκτή

ΙΙ.1.1 Γλώσσα προγραμματισμού

Η γλώσσα του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή της C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η AVR libc.

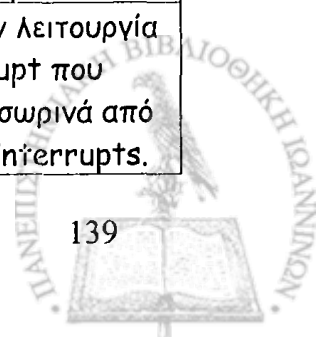
Λόγω της καταγωγής της από την C, στην γλώσσα του Arduino μπορούμε να χρησιμοποιούμε ουσιαστικά τις ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπους δεδομένων και τους ίδιους τελεστές όπως και στην C. Πέρα από αυτές όμως, υπάρχουν κάποιες ειδικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που βοηθούν για την διαχείριση του ειδικού hardware του Arduino. Οι πιο σημαντικές από αυτές επεξηγούνται στον παρακάτω πίνακα. Στην επίσημη ιστοσελίδα υπάρχουν όλες οι εντολές, συναρτήσεις και σταθερές με αρκετά παραδείγματα.

Όρισμα	Είδος	Τύπος	Παράμετροι	Περιγραφή
LOW	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false
HIGH	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true
INPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false
OUTPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true
pinMode	Εντολή	-	(pin,mode)	Καθορίζει αν το συγκεκριμένο ψηφιακό pin θα είναι pin εισόδου ή pin εξόδου ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο mode (INPUT ή OUTPUT αντίστοιχα).
digitalWrite	Εντολή	-	(pin,pinstatus)	Θέτει την κατάσταση pinstatus (HIGH ή LOW) στο συγκεκριμένο ψηφιακό pin.

digitalRead	Συνάρτηση	int	(pin)	Επιστρέφει την κατάσταση του συγκεκριμένου ψηφιακού pin (0 για LOW και 1 για HIGH) εφόσον αυτό είναι pin εισόδου.
analogReference	Εντολή	-	(type)	Δέχεται τις τιμές DEFAULT, INTERNAL ή EXTERNAL στην παράμετρο type για να καθορίσει την τάση αναφοράς (Vref) των αναλογικών εισόδων (5V, 1.1 V ή η εξωτερική τάση με την οποία τροφοδοτείται το pin AREF αντίστοιχα)
analogRead	Συνάρτηση	int	(pin)	Επιστρέφει έναν ακέραιο από 0 έως 1023, ανάλογα με την τάση που τροφοδοτείται το συγκεκριμένο pin αναλογικής εισόδου στην κλίμακα 0 ως Vref.
analogWrite	Εντολή	-	(pin,value)	Θέτει το συγκεκριμένο ψηφιακό pin σε κατάσταση ψευδοαναλογικής εξόδου (PWM). Η παράμετρος value καθορίζει το πλάτος του παλμού σε σχέση με την περίοδο του παραγόμενου σήματος στην κλίμακα από 0 ως 255 (π.χ. με value 127, το πλάτος του παλμού είναι ίσο με μισή περίοδο).
millis	Συνάρτησης	Unsigned long	()	Μετρητής που επιστρέφει το χρονικό διάστημα σε ms από την στιγμή που άρχισε η εκτέλεση του προγράμματος. Λόγω του τύπου μεταβλητής (unsigned long δηλ. 32bit)



				Θα γίνει overflow σε 2^{32} ms δηλαδή περίπου σε 50 μέρες, οπότε ο μετρητής θα ξεκινήσει πάλι από το μηδέν.
delay	Εντολή	-	(time)	Σταματά προσωρινά την ροή του προγράμματος για time ms. Η παράμετρος time είναι unsigned long (από 0 ως 2^{32}). Σημειώστε ότι παρά την προσωρινή παύση, συναρτήσεις των οποίων η εκτέλεση ενεργοποιείται από interrupt θα εκτελεστούν κανονικά κατά την διάρκεια μιας delay.
attachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt,function,triggermode)	Θέτει σε λειτουργία το συγκεκριμένο interrupt, ώστε να ενεργοποιεί την συνάρτηση function, κάθε φορά που ικανοποιείται η συνθήκη που ορίζεται από την παράμετρο triggermode: <ul style="list-style-type: none"> • LOW (ενεργοποίηση όταν η κατάσταση του pin που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο interrupt γίνει LOW) • RISING (όταν από LOW γίνει HIGH) • FALLING (όταν από HIGH γίνει LOW) • CHANGE (όταν αλλάξει κατάσταση γενικά)
detachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt)	Απενεργοποιεί το συγκεκριμένο interrupt.
noInterrupts	Εντολή	-	()	Σταματά προσωρινά την λειτουργία όλων των interrupt
interrupts	Εντολή	-	()	Επαναφέρει την λειτουργία των interrupt που διακόπηκε προσωρινά από μια εντολή noInterrupts.



Serial.begin	Μέθοδος κλάσης	-	(datarate)	Θέτει τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του σειριακού interface (σε baud)
Serial.println	Μέθοδος κλάσης	-	(data)	Διοχετεύει τα δεδομένα data για αποστολή μέσω του σειριακού interface. Η παράμετρος data μπορεί να είναι είτε αριθμός είτε αλφαριθμητικό

Στην γλώσσα του Arduino κάθε πρόγραμμα αποτελείται από δύο βασικές ρουτίνες, την void setup () και την void loop (). Η void setup () εκτελείται μια φορά μόνο κατά την εκκίνηση του προγράμματος, ενώ η void loop() περιέχει τον βασικό κορμό του προγράμματος και η εκτέλεση της επαναλαμβάνεται διαρκώς σαν ένας βρόγχος while(true).

Στην αρχή του προγράμματος τοποθετούνται οι βιβλιοθήκες και οι δηλώσεις μεταβλητών. Στην void setup () ρυθμίζονται τα Pin που είναι συνδεδεμένα με διάφορα εξαρτήματα ως είσοδοι ή έξοδοι. Στην συνέχεια, η κύρια ρουτίνα void loop (), η εκτέλεση της οποίας επαναλαμβάνεται συνέχεια όσο το Arduino είναι σε λειτουργία και στο τέλος μπαίνουν οι υπόλοιπες ρουτίνες.

Για να φορτωθεί το πρόγραμμα στο Arduino πρέπει να έχει συνδεθεί το Arduino με τον υπολογιστή και στην συνέχεια να επιλέξουμε File -> Upload to I/O Board (εναλλακτικά πατάμε Ctrl+U ή κάνουμε κλικ στο ανάλογο εικονίδιο της γραμμής εργαλείων). Με αυτή την ενέργεια, το λογισμικό θα μεταγλωττιστεί και θα σταλεί αυτόματα στο Arduino. Το πρόγραμμα που «ανεβάζουμε» στο Arduino εκτελείται αυτόματα από τον bootloader αμέσως μετά την λήψη του και έτσι, χωρίς καθυστέρηση, θα εκτελέσει το Arduino τον κώδικα που δέχτηκε.



II.1.2 Πρόγραμμα εκτύπωσης των τιμών των αναλογικών εξόδων του μικροελεγκτή στη σειριακή του έξοδο.

```
int DiomisiVoltPin = A0;
int PendeVoltPin = A1;
unsigned long time;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);           //Ορίζει το baud rate της σειριακής
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,Time(Millisec),A0,A1,"); //Γράφει την πρώτη
  γραμμή του αρχείου που στη συνέχεια θα μετατραπεί σε excel.
}

void loop()
{
  time = millis();
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(time);
  Serial.print(",");
  Serial.print(readA0());
  Serial.print(",");
  Serial.println(readA1()); //Τυπώνει στη σειριακή όλα τα παραπάνω αλλά
  στη συνέχεια αλλάζει γραμμή
  delay(10000);           // Καθυστερεί 10sec
}

float readA0()
{
  int DiomisiVolt = analogRead(DiomisiVoltPin);
  float vout = (DiomisiVolt*3) / 1024.0;           //Πολλαπλασιάζει την
  τιμή                                             //που διαβάζει στην
  το                                             //αναλογική είσοδο με
  return vout;
}
```

```
float readA1()
{
  int PendeVolt = analogRead(PendeVoltPin);
  float Pende = (PendeVolt * 6)/1024.0;
  return Pende ;
}
```

Στο τέλος του παραπάνω κώδικα έχουν χρησιμοποιηθεί κάποιες συναρτήσεις ο σκοπός των οποίων είναι να αλλάξουν την τιμή που βλέπουν στη σειριακή και να την μετατρέψουν στην πραγματική τιμή που μετρίεται στους πυκνωτές αφού όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο έχουν προηγηθεί της αναλογικής εισόδου οι τελεστικοί ενισχυτές που μετατρέπουν την πραγματική τάση των πυκνωτών σε αυτή που καταλαβαίνει ο μικροελεγκτής.

II.1.3 Προγραμματισμούς του μικροελεγκτή του συστήματος αναμετάδοσης της ψηφιακής πληροφορίας.

```
\\library for interrupts
#include <avr/interrupt.h>
\\library for sleep mode
#include <avr/sleep.h>
\\library for read GPS string
#include <string.h>
#include <ctype.h>
\\library for I2C communication
#include <Wire.h>

#define DS1342_I2C_ADDRESS 0x68  \\ DS1342 adressing
#define DS1342  0xD0 >> 1
#define R_SECS  0                \\Registers of DS1342
#define R_MINS  1
#define R_HRS   2
#define R_WKDAY  3
#define R_DATE  4
#define R_MONTH  5
#define R_YEAR   6
#define R_A1_SECS  7
#define R_A1_MINS  8
#define R_A1_HRS   9
#define R_A1_DATE 10
```



```
#define R_A2_MINS  11
#define R_A2_HRS   12
#define R_A2_DATE  13
#define R_EOSC    14
#define R_OSF     15
```

\\Initialization of the parameters of RTC

```
byte second  = 0x00;
byte minute  = 0x27;
byte hour    = 0x10;
byte wkDay   = 0x07;
byte day     = 0x26;
byte month   = 0x01;
byte year    = 0x13;
byte a1_sec  = 0x00;
byte a1_min  = 0x90;
byte a1_hour = 0x80;
byte a1_date = 0x80;
byte a2_min  = 0x80;
byte a2_hour = 0x80;
byte a2_date = 0x80;
byte eosc   = 0x07;
byte osf    = 0x00;
byte s, m, h;
const byte DS1307_CTRL_ID = 0x68;
const byte NumberOfFields = 7;
int Second ;
int Minute;
int Hour;
int Day;
int Wday;
int Month;
int Year;
\\ Initialization of the input-outputs of the  $\mu$ C
int RelayPin = 5;
int sleepPin = 12;
int interruptPin = 10;
int wakePin = 2;
int sleepStatus = 0;
int GPSPin = 9;
int counter=0;
```



```

int ledPin = 13;
int rxPin = 0;
int txPin = 1;
int byteGPS=-1;
char linea1[300] = "";
char comandoGPR[7] = "$GPRMC";
char comandoGPG[7] = "$GPGGA";
int cont=0;
int bien=0;
int conta=0;
int indices1[13];

void setup()
{
  \\ Begin I2C communication
  Wire.begin();
  \\ Begin serial communication
  pinMode(rxPin, INPUT);
  pinMode(txPin, OUTPUT);
  Serial.begin(4800);
  for (int i=0;i<300;i++){
    linea1[i]=' ';
  }
  a1_sec = 0x15;
  a1_min = 0x95;
  a1_hour = 0x80;
  a1_date = 0x80;
  setA1();
  a2_min = 0x80;
  a2_hour = 0x80;
  a2_date = 0x80;
  setA2();
  setEosc();
  setOsf();
  \\ Pin mode state
  pinMode(RelayPin, OUTPUT);
  pinMode(interruptPin, OUTPUT);
  pinMode(sleepPin, INPUT);
  pinMode(wakePin, INPUT);
  pinMode(GPSPin,OUTPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);

```




```
attachInterrupt(0, wakeUpNow, LOW);
}
```

```
\\ Sleep mode function
```

```
void sleepNow()
```

```
{
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);

  sleep_enable();
  attachInterrupt(0,wakeUpNow, LOW);
  sleep_mode();
  sleep_disable();
  detachInterrupt(0);
  delay(1000);
  digitalWrite (interruptPin, LOW);
}
```

```
\\ Wake up function
```

```
void wakeUpNow()
```

```
{
  digitalWrite(interruptPin, HIGH);
}
```

```
void loop()
```

```
{

  setOsf(); \\ Initialize the value of the interrupt register
  /*******
```

```
\\ Print time in the serial communication
```

```
Wire.beginTransmission(DS1307_CTRL_ID);
```

```
Wire.write(0x00);
```

```
Wire.endTransmission();
```

```
Wire.requestFrom(DS1307_CTRL_ID, NumberOfFields);
```

```
Second = bcd2dec(Wire.read() & 0x7f);
```

```
Minute = bcd2dec(Wire.read() );
```

```
Hour = bcd2dec(Wire.read() & 0x3f);
```

```
Wday = bcd2dec(Wire.read() );
```



```

Day = bcd2dec(Wire.read() );
Month = bcd2dec(Wire.read() );
Year = bcd2dec(Wire.read() );
Year = Year + 2000;
Serial.print(Hour);
printDigits(Minute);
printDigits(Second);
Serial.print(" ");
Serial.print(Day);
Serial.print(" ");
Serial.print(Month);
Serial.print(" ");
Serial.print(Year);
Serial.print(" ");
Serial.println();
delay(1000);
//*****

```

```

if (Hour == 13 & Minute == 15){
digitalWrite(RelayPin, HIGH); // set the first Relay on
digitalWrite(GPSPin, HIGH); // set the GPS on
digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the second Relay on
delay(600000); // delay for 10 min
for (int i=1; i<5000;i++){ //read the of GPS
byteGPS=Serial.read();
if (byteGPS == -1) {
delay(100);
} else {
linea1[conta]=byteGPS;
conta++;
Serial.write(byteGPS);
if (byteGPS==13){
cont=0;
bien=0;
for (int i=1;i<7;i++){
if (linea1[i]==comandoGPR[i-1]){
bien++;
}
}
if(bien==6){
for (int i=0;i<300;i++){

```



```

if (linea1[i]==',' ){
  indices1[cont]=i;
  cont++;
}
if (linea1[i]=='*'){
  indices1[12]=i;
  cont++;
}
}
}

```

```

if (linea1[19] == 'A'){          \\ if the ASCII character of state
setDS1342();                    \\ condition is A set DS1342
}

```

```

Serial.println(" ");           \\ Print GPS time
Serial.println(digitToByte(8,9));
Serial.println(digitToByte(10,11));
Serial.println(digitToByte(12,13));
Serial.println(" ");

```

```

}
delay(100);
conta=0;
}
}

```

```

}
delay(2000);
digitalWrite(RelayPin, LOW);    \\ Close the first Relay
digitalWrite(GPSPin, LOW);     \\ Close GPS
digitalWrite(ledPin, LOW);     \\ Close the second Relay
delay(1000);
sleepStatus = digitalRead(sleepPin);
sleepNow();                     \\ Sleep now
}

```

```

else if (Hour == 13 & Minute == 30){
digitalWrite(RelayPin, HIGH);
digitalWrite(GPSPin, HIGH);
digitalWrite(ledPin, HIGH);
delay(600000);

```

```

//*****

```



```

for (int i=1; i<5000;i++){
byteGPS=Serial.read();
if (byteGPS == -1) {
    delay(100);
} else {
    linea1[conta]=byteGPS;
    conta++;
    Serial.write(byteGPS);
    if (byteGPS==13){
        cont=0;
        bien=0;
        for (int i=1;i<7;i++){
            if (linea1[i]==comandoGPR[i-1]){
                bien++;
            }
        }
        if(bien==6){
            for (int i=0;i<300;i++){
                if (linea1[i]==','){
                    indices1[cont]=i;
                    cont++;
                }
                if (linea1[i]=='*'){
                    indices1[12]=i;
                    cont++;
                }
            }
        }

        if (linea1[19] == 'A'){
            setDS1342();
        }
        Serial.println(" ");
        Serial.println(digitToByte(8,9));
        Serial.println(digitToByte(10,11));
        Serial.println(digitToByte(12,13));
        Serial.println(" ");

    }
    delay(100);
    conta=0;
}

```



```

}
//*****
}
delay(2000);
digitalWrite(RelayPin, LOW);
digitalWrite(GPSPin, LOW);
digitalWrite(ledPin, LOW);
delay(1000);
sleepStatus = digitalRead(sleepPin);
sleepNow();
}
else if (Hour == 15 & Minute == 15){
digitalWrite(RelayPin, HIGH);
digitalWrite(GPSPin, HIGH);
digitalWrite(ledPin, HIGH);
delay(600000);
//*****
for (int i=1; i<5000;i++){
byteGPS=Serial.read();
if (byteGPS == -1) {
delay(100);
} else {
linea1[conta]=byteGPS;
conta++;
Serial.write(byteGPS);
if (byteGPS==13){
cont=0;
bien=0;
for (int i=1;i<7;i++){
if (linea1[i]==comandoGPR[i-1]){
bien++;
}
}
}
if(bien==6){
for (int i=0;i<300;i++){
if (linea1[i]==',' ){
indices1[cont]=i;
cont++;
}
}
if (linea1[i]=='*'){
indices1[12]=i;

```

```

        cont++;
    }
}
if (linea1[19] == 'A'){
    setDS1342();
}
Serial.println(" ");
Serial.println(digitToByte(8,9));
Serial.println(digitToByte(10,11));
Serial.println(digitToByte(12,13));
Serial.println(" ");

}
delay(100);
conta=0;
}
}
//*****
}
delay(2000);
digitalWrite(RelayPin, LOW);
digitalWrite(GPSPin, LOW);
digitalWrite(ledPin, LOW);
delay(1000);
sleepStatus = digitalRead(sleepPin);
sleepNow();
}

else {
    sleepStatus = digitalRead(sleepPin);
    sleepNow();
}

}

\\ Function for the initialization of the INTA
void setA1()
{
    Wire.beginTransmission(DS1342);
    Wire.write(R_A1_SECS);
    Wire.write(a1_sec);
}

```



```

Wire.write(a1_min);
Wire.write(a1_hour);
Wire.write(a1_date);
Wire.endTransmission();
}

```

\\ Function for the initialization of the INTB

```

void setA2()
{
Wire.beginTransmission(DS1342);
Wire.write(R_A2_MINS);
Wire.write(a2_min);
Wire.write(a2_hour);
Wire.write(a2_date);
Wire.endTransmission();
}

```

```

void setEosc()
{
Wire.beginTransmission(DS1342);
Wire.write(R_EOSC);
Wire.write(eosc);
Wire.endTransmission();
}

```

\\ Function for the initialization of the control of the interrupts

```

void setOsf()
{
Wire.beginTransmission(DS1342);
Wire.write(R_OSF);
Wire.write(osf);
Wire.endTransmission();
}

```

//*****

\\ Binary-Coded Decimal to bin converter

```

byte bcd2dec(byte num)
{
return ((num/16 * 10) + (num % 16));
}

```



```

//*****
void printDigits(int digits){
  Serial.print(":");
  if(digits < 10)
    Serial.print('0');
  Serial.print(digits);
}
//*****

```

\\ Function which initialize the RTC reading the time of the GPS string

```

void setDS1342(){
  s=digitToByte(12,13);
  m=digitToByte(10,11);
  h=digitToByte(8,9)+2;
  Wire.beginTransmission(DS1342_I2C_ADDRESS);
  Wire.write(0x00);
  Wire.write(dec2bcd(s));
  Wire.write(dec2bcd(m));
  Wire.write(dec2bcd(h));
  Wire.endTransmission();
}

```

\\ Convert digit to byte (It needs for setDS1342 Function)

```

byte digitToByte(int x,int y){
  return (byte) ((linea1[x]&0x0F)*10+(linea1[y]&0x0F));
}

```

\\ convert bin to BCD

```

byte dec2bcd(byte val){
  return ((val/0xA*0x10)+(val%0xA));
}

```

```

//*****

```

